

SEMICONDUCTOR DEVICE AND PRODUCTION SYSTEM THEREOF

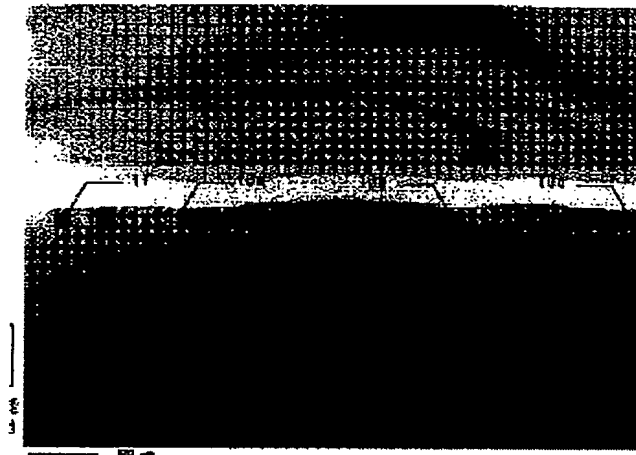
Patent number: JP2003257865
Publication date: 2003-09-12
Inventor: ISOBE ATSUO; ORIKI KOUJI; SHIBATA HIROSHI; KOKUBO CHIHO; ARAO TATSUYA; HAYAKAWA MASAHICO; MIYAIRI HIDEKAZU; SHIMOMURA AKIHISA; TANAKA KOICHIRO; YAMAZAKI SHUNPEI; AKIBA MAI
Applicant: SEMICONDUCTOR ENERGY LAB
Classification:
- international: G02F1/1368; H01L21/20; H01L21/268; H01L21/336; H01L29/786; G02F1/13; H01L21/02; H01L29/66; (IPC1-7): H01L21/20; G02F1/1368; H01L21/268; H01L21/336; H01L29/786
- european:
Application number: JP20020374800 20021225
Priority number(s): JP20020374800 20021225; JP20010399038 20011228; JP20010401518 20011228

Report a data error here

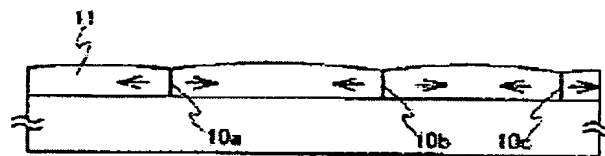
Abstract of JP2003257865

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor device using a laser crystallization method which can prevent a grain boundary from being formed in a channel formation area of a TFT, and can prevent a conspicuous reduction in mobility of the TFT, a reduction in an on-current, or an increase in an off-current, and to provide a production system of the semiconductor device.
SOLUTION: An insulating film formed with an unevenness is formed on a substrate, and a semiconductor film is formed on the insulating film, so as to selectively form a part where a stress is concentratedly applied to the semiconductor film at the time of crystallization by laser beam. Specifically, the semiconductor film is formed with a strip-like or rectangular unevenness. The continuously oscillated laser beams are irradiated along the stripe-like unevenness formed on the semiconductor film, or along the direction of long axis or short axis of a rectangle.
COPYRIGHT: (C)2003,JPO

(A)



(B)



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-257865
(P 2 0 0 3 - 2 5 7 8 6 5 A)
(43) 公開日 平成15年9月12日 (2003. 9. 12)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード (参考)
H01L 21/20		H01L 21/20	2H092
G02F 1/1368		G02F 1/1368	5F052
H01L 21/268		H01L 21/268	J 5F110
			T
21/336		29/78	626 C
審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全45頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号	特願2002-374800 (P 2002-374800)	(71) 出願人	000153878 株式会社半導体エネルギー研究所 神奈川県厚木市長谷398番地
(22) 出願日	平成14年12月25日 (2002. 12. 25)	(72) 発明者	磯部 敦生 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半 導体エネルギー研究所内
(31) 優先権主張番号	特願2001-399038 (P 2001-399038)	(72) 発明者	大力 浩二 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半 導体エネルギー研究所内
(32) 優先日	平成13年12月28日 (2001. 12. 28)	(72) 発明者	柴田 寛 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半 導体エネルギー研究所内
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		
(31) 優先権主張番号	特願2001-401518 (P 2001-401518)		
(32) 優先日	平成13年12月28日 (2001. 12. 28)		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置及び半導体装置の生産システム

(57) 【要約】

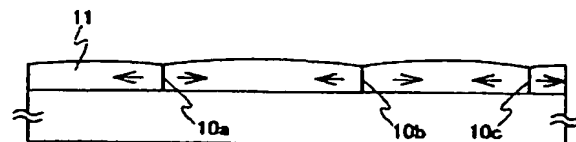
【課題】 T F Tのチャネル形成領域に粒界が形成されるのを防ぎ、粒界によってT F Tの移動度が著しく低下したり、オン電流が低減したり、オフ電流が増加したりするのを防ぐことができるレーザー結晶化法を用いて形成される半導体装置及び半導体装置の生産システムの提供を課題とする。

【解決手段】 基板上に凹凸を設けた絶縁膜を形成し、該絶縁膜上に半導体膜を形成することで、レーザー光による結晶化の際に、該半導体膜に応力が集中的にかかる部分を選択的に形成する。具体的には、該半導体膜にストライプ状（縞状）または矩形の凹凸を設ける。そして、該半導体膜に形成されたストライプの凹凸に沿って、または矩形の長軸か短軸の方向に沿って、連続発振のレーザー光を照射する。

(A)



(B)



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 矩形又は帯状の段差形状を有する下地絶縁膜上の凹底部に形成された結晶性半導体膜にチャンネル形成領域が配設される薄膜トランジスタを有し、当該チャンネル形成領域は、前記矩形又は帯状の段差形状の長手方向に沿って延在していることを特徴とする半導体装置。

【請求項 2】 酸化珪素又は酸化窒化珪素上に矩形又は帯状に形成された窒化珪素又は窒酸化珪素により段差が形成され、前記酸化珪素又は酸化窒化珪素上に形成された結晶性半導体膜にチャンネル形成領域が配設される薄膜トランジスタを有し、当該チャンネル形成領域は、前記矩形又は帯状に形成された酸化珪素の長手方向に沿って延在していることを特徴とする半導体装置。

【請求項 3】 複数の矩形又は帯状の段差形状を有する下地絶縁膜上の、それぞれの凹底部に形成された結晶性半導体膜に複数のチャンネル形成領域が並列に配設される薄膜トランジスタを有し、当該チャンネル形成領域のそれぞれは、前記矩形又は帯状の段差形状の長手方向に沿って延在し、前記複数のチャンネル形成領域と連結し、かつ、該結晶性半導体膜と連続的に形成された結晶性半導体膜にソース又はドレイン領域が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 4】 複数の矩形又は帯状の段差形状を有する下地絶縁膜上の、それぞれの凹底部に形成された結晶性半導体膜に複数のチャンネル形成領域が並列に配設される薄膜トランジスタを有し、当該チャンネル形成領域のそれぞれは、前記矩形又は帯状の段差形状の長手方向に沿って延在し、前記複数のチャンネル形成領域と連結し、かつ、該結晶性半導体膜と連続的に形成され、前記複数の矩形又は帯状の段差形状の凹底部から凸上部にかけて延在する結晶性半導体膜にソース又はドレイン領域が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 5】 非周期的に形成された複数の矩形又は帯状の段差形状を有する下地絶縁膜上の、それぞれの凹底部に形成された結晶性半導体膜に複数のチャンネル形成領域が並列に配設される薄膜トランジスタを有し、当該チャンネル形成領域のそれぞれは、前記矩形又は帯状の段差形状の長手方向に沿って延在し、前記複数のチャンネル形成領域と連結し、かつ、該結晶性半導体膜と連続的に形成され、前記複数の矩形又は帯状の段差形状の凹底部から凸上部にかけて延在する結晶性半導体膜にソース又はドレイン領域が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 6】 請求項 3 乃至請求項 5 のいずれか一項において、前記下地絶縁膜は、酸化珪素又は酸化窒化珪素から成る第 1 絶縁膜と、その上に形成され、矩形又は帯状のパターンに形成された窒化珪素又は窒酸化珪素から成る第 2 絶縁膜とで段差形状が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 7】 請求項 3 乃至請求項 5 のいずれか一項にお

いて、前記下地絶縁膜は、矩形又は帯状のパターンに形成された酸化珪素又は酸化窒化珪素から成る第 1 絶縁膜と、その上に形成された酸化珪素又は酸化窒化珪素から成る第 2 絶縁膜とで段差形状が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 8】 矩形又は帯状の複数の第 1 のゲート電極と、

前記複数の第 1 のゲート電極を覆って形成され、その表面に凹凸を有する第 1 のゲート絶縁膜と、

10 前記第 1 のゲート絶縁膜の凹部にチャンネル形成領域を有する結晶性半導体膜と、

前記結晶性半導体膜上に形成され、なおかつ前記第 1 のゲート絶縁膜の凸部に接する第 2 のゲート絶縁膜と、

前記第 2 のゲート絶縁膜上に形成され、なおかつ前記第 1 及び第 2 のゲート絶縁膜に形成されたコンタクトホールを介して、前記複数の第 1 のゲート電極と接している第 2 のゲート電極と、を有し、

20 前記チャンネル形成領域は、前記第 1 のゲート絶縁膜を間に挟んで前記複数の第 1 のゲート電極のいずれか 2 つと重なっており、なおかつ前記第 2 のゲート絶縁膜を間に挟んで前記第 2 のゲート電極と重なっていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 9】 レーザー発振装置と、

前記レーザー発振装置から発振されたレーザー光を、そのレーザービームが線状になるように集光する光学系と、

前記集光されたレーザー光の照射位置を移動させる第 1 の手段と、

30 基板上に矩形又は帯状の凹凸を有する絶縁膜を形成する第 2 の手段と、

前記絶縁膜上に半導体膜を形成する第 3 の手段と、

前記絶縁膜のパターン情報を記憶する第 4 の手段と、

基板上に形成されたマーカーを基準として、前記パターン情報から、前記半導体膜の凹部を含むように前記レーザービームの走査経路を定め、なおかつ前記第 1 の手段を制御して前記走査経路に従い前記レーザービームを移動させることで、前記半導体膜の結晶性を高める第 5 の手段と、

40 前記結晶性が高められた半導体膜をパターニングして、チャンネル形成領域を前記絶縁膜の凹部上に有するアイランドを形成する第 6 の手段と、を有することを特徴とする半導体装置の生産システム。

【請求項 10】 レーザー発振装置と、

前記レーザー発振装置から発振されたレーザー光を、そのレーザービームが線状になるように集光する光学系と、

前記集光されたレーザー光の照射位置を移動させる第 1 の手段と、

50 基板上に矩形又は帯状の凹凸を有する絶縁膜を形成する第 2 の手段と、

前記絶縁膜上に半導体膜を形成する第3の手段と、
前記絶縁膜のパターン情報を記憶する第4の手段と、
基板上に形成されたマーカーを基準として、前記パターン情報と、前記レーザービームの走査方向に対して垂直な方向における幅とから、前記半導体膜の凹部を含むように前記レーザービームの走査経路を定め、なおかつ前記第1の手段を制御して前記走査経路に従い前記レーザービームを移動させることで、前記半導体膜の結晶性を高める第5の手段と、

前記結晶性が高められた半導体膜をパターニングして、
チャネル形成領域を前記絶縁膜の凹部に有するアイランドを形成する第6の手段と、を有することを特徴とする半導体装置の生産システム。

【請求項11】レーザー発振装置と、

前記レーザー発振装置から発振されたレーザー光を、そのレーザービームが線状になるように集光する光学系と、

前記集光されたレーザー光の照射位置を移動させる第1の手段と、

入力されたパターン情報を記憶する第2の手段と、

前記パターン情報に従って、基板上に矩形又は帯状の凹凸を有する絶縁膜を形成する第3の手段と、

前記絶縁膜上に半導体膜を形成する第4の手段と、

前記形成された半導体膜のパターン情報を読み取る第5の手段と、

前記読み取ったパターン情報を記憶する第6の手段と、

前記第2の手段に記憶されたパターン情報と、前記第6の手段に記憶されたパターン情報と、前記形成された半導体膜の厚さとから得られた基板の位置情報を基準として、前記第2の手段に記憶されたパターン情報または前記第6の手段に記憶されたパターン情報から、前記半導体膜の凹部を含むように前記レーザービームの走査経路を定め、なおかつ前記第1の手段を制御して前記走査経路に従い前記レーザービームを移動させることで、前記半導体膜の結晶性を高める第7の手段と、

前記結晶性が高められた半導体膜をパターニングして、
チャネル形成領域を前記絶縁膜の凹部に有するアイランドを形成する第8の手段と、を有することを特徴とする半導体装置の生産システム。

【請求項12】請求項11において、前記第5の手段は電荷結合素子を用いていることを特徴とする半導体装置の生産システム。

【請求項13】レーザー発振装置と、

前記レーザー発振装置から発振されたレーザー光を、そのレーザービームが線状になるように集光する光学系と、

前記集光されたレーザー光の照射位置を移動させる第1の手段と、

基板上に矩形又は帯状の凹凸を有する絶縁膜を形成する第2の手段と、

前記絶縁膜上に半導体膜を形成する第3の手段と、
前記絶縁膜のパターン情報を記憶する第4の手段と、
基板上に形成されたマーカーを基準として、前記パターン情報から、前記半導体膜の凹部を含むように前記レーザービームの走査経路を定め、なおかつ前記第1の手段を制御して前記走査経路に従い前記レーザービームを移動させることで、前記半導体膜の結晶性を高める第5の手段と、

前記結晶性が高められた半導体膜をパターニングして、
前記絶縁膜の複数の凹部にまたがるようにアイランドを形成する第6の手段と、を有する半導体装置の生産システムであって、

前記アイランドのチャネル形成領域は前記複数の各凹部に設けられており、なおかつ互いに分離していることを特徴とする半導体装置の生産システム。

【請求項14】レーザー発振装置と、

前記レーザー発振装置から発振されたレーザー光を、そのレーザービームが線状になるように集光する光学系と、

前記集光されたレーザー光の照射位置を移動させる第1の手段と、

基板上に矩形又は帯状の凹凸を有する絶縁膜を形成する第2の手段と、

前記絶縁膜上に半導体膜を形成する第3の手段と、

前記絶縁膜のパターン情報を記憶する第4の手段と、

基板上に形成されたマーカーを基準として、前記パターン情報と、前記レーザービームの走査方向に対して垂直な方向における幅とから、前記半導体膜の凹部を含むように前記レーザービームの走査経路を定め、なおかつ前記第1の手段を制御して前記走査経路に従い前記レーザービームを移動させることで、前記半導体膜の結晶性を高める第5の手段と、

前記結晶性が高められた半導体膜をパターニングして、
前記絶縁膜の複数の凹部にまたがるようにアイランドを形成する第6の手段と、

前記アイランドのチャネル形成領域は前記複数の各凹部に設けられており、なおかつ互いに分離していることを特徴とする半導体装置の生産システム。

【請求項15】レーザー発振装置と、

前記レーザー発振装置から発振されたレーザー光を、そのレーザービームが線状になるように集光する光学系と、

前記集光されたレーザー光の照射位置を移動させる第1の手段と、

入力されたパターン情報を記憶する第2の手段と、

前記パターン情報に従って、基板上に矩形又は帯状の凹凸を有する絶縁膜を形成する第3の手段と、

前記絶縁膜上に半導体膜を形成する第4の手段と、

前記形成された半導体膜のパターン情報を読み取る第5の手段と、

前記読み取ったパターン情報を記憶する第6の手段と、
前記第2の手段に記憶されたパターン情報と、前記第6
の手段に記憶されたパターン情報と、前記形成された半
導体膜の厚さとから得られた基板の位置情報を基準とし
て、前記第2の手段に記憶されたパターン情報または前
記第6の手段に記憶されたパターン情報から、前記半導
体膜の凹部を含むように前記レーザービームの走査経路
を定め、なおかつ前記第1の手段を制御して前記走査経
路に従い前記レーザービームを移動させることで、前記
半導体膜の結晶性を高める第7の手段と、

前記結晶性が高められた半導体膜をパターンニングして、
前記絶縁膜複数の凹部上にまたがるようにアイランドを
形成する第8の手段と、

前記アイランドのチャネル形成領域は前記複数の各凹部
上に設けられており、なおかつ互いに分離していること
を特徴とする半導体装置の生産システム。

【請求項16】請求項15において、前記第5の手段は
電荷結合素子を用いていることを特徴とする半導体装置
の生産システム。

【請求項17】請求項9乃至請求項16のいずれか1項
において、

レーザー光の走査が減圧雰囲気下または不活性ガス雰
囲気下において行われることを特徴とする半導体装置の生
産システム。

【請求項18】請求項9乃至請求項17のいずれか一項
において、前記レーザー光は、YAGレーザー、YVO₄
レーザー、YLFレーザー、YAlO₃レーザー、ガラ
スレーザー、ルビーレーザー、アレキサンドライドレ
ザー、Ti:サファイアレーザーまたはY₂O₃レーザー
から選ばれた一種または複数種を用いて出力されている
ことを特徴とする半導体装置の生産システム。

【請求項19】請求項9乃至請求項18のいずれか一項
において、前記レーザー光は、スラブレーザーを用いて
出力されていることを特徴とする半導体装置の生産シ
ステム。

【請求項20】請求項9乃至請求項19のいずれか1項
において、前記レーザー光は連続発振であることを特徴
とする半導体装置の生産システム。

【請求項21】請求項9乃至請求項20のいずれか一項
において、前記レーザー光は第2高調波であることを特
徴とする半導体装置の生産システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は結晶構造を有する半
導体膜を用いて構成される半導体装置に係り、絶縁表面
上に結晶成長させた結晶性半導体膜を用い、電界効果型
トランジスタ、特に薄膜トランジスタやバイポーラトラ
ンジスタを用いた半導体装置に関する。また本発明は、
半導体膜をレーザー光を用いて結晶化又はイオン注入後
の活性化をする半導体装置の生産システムに関する。

【0002】

【従来の技術】ガラスなどの基板上に形成した非晶質半
導体膜を、レーザー処理により結晶化させる技術が知ら
れている。レーザー処理とは、半導体基板又は半導体膜
に形成された損傷層や非晶質層を再結晶化する技術、絶
縁表面上に形成された非晶質半導体膜を結晶化させる技
術、又は結晶構造を有する半導体膜（結晶性半導体膜）
の結晶性を向上させる技術等を指している。このような
レーザー処理に使われるレーザー発振装置は、エキシマ
レーザーに代表される気体レーザーや、YAGレーザー
に代表される固体レーザーが通常用いられている。

【0003】レーザービームを用いることの特徴は、輻
射加熱又は伝導加熱を利用する加熱処理と比較して、レ
ーザービームが照射されそのエネルギーを吸収した領域
のみを選択的に加熱することができる点にある。例え
ば、波長400nm以下の紫外光を発振するエキシマレ
ーザー発振装置を用いたレーザー処理は半導体膜を選択
的且つ局所的に加熱して、ガラス基板に殆ど熱的損傷を
与えずに、半導体膜の結晶化や活性化処理を実現してい
る。

【0004】レーザー処理は、例えば特許文献1で開示
されているように、レーザービームの走査速度をビーム
スポット径×5000/秒以上として高速走査により非
晶質半導体膜を完全な溶融状態に至らしめることなく多
結晶化するものや、例えば特許文献2に開示されてい
るように、島状に形成された半導体領域に、引き延ばさ
れたレーザービームを照射して実質に単結晶領域を形成
するものがある。或いは特許文献3に開示されてい
るように、レーザー処理装置のように光学系にて線状にビ
ームを加工して照射する方法が知られている。

【0005】

【特許文献1】特開昭62-104117号公報（第9
2頁）

【特許文献2】米国特許第4,330,363号明細書（F i g.
4）

【特許文献3】特開平8-195357号公報（第3-
4頁、第1-5図）

【0006】さらに、Nd:YVO₄レーザーなど固体
レーザー発振装置を用いた結晶化技術は、例えば特許文
献4に開示されている。同公報では、当該固体レーザー
発振装置から放射されるレーザービームの第2高調波を
使うことにより、従来に比べ結晶粒径の大きい結晶性半
導体膜が得られ、薄膜トランジスタ（以下、TFTと記
す）への適用が示されている。

【0007】

【特許文献4】特開2001-144027号公報（第
4頁）

【0008】また、このような固体レーザー発振装置を
用いた結晶化技術における薄膜トランジスタ（以下、T
F Tと記す）への応用は、例えば非特許文献1でも報告

されている。ここでは、ダイオード励起の固体連続発振レーザー (YVO₄) の第 2 高調波を用いて、非晶質珪素膜を結晶化し、それを用いて TFT を作製した結果が示されている。

【0009】

【非特許文献 1】A. Hara, F. Takeuchi, M. Takei, K. Yoshino, K. Suga and N. Sasaki, "Ultra-high Performance Poly-Si TFTs on a Glass by a Stable Scanning CW Laser Lateral Crystallization", AMLCD '01 Tech. Dig., 2001, pp. 227-230.

【0010】そもそも、TFT の特性を向上させるために、その活性層 (ここではチャネル形成領域やソース及びドレイン領域を形成する半導体膜を指している) の結晶性の向上が不可欠であると考えられてきた。

【0011】絶縁表面上に単結晶半導体膜を形成する試みは古くから成され、より積極的な試みとしてグラフォエピタキシー (graphoepitaxy) という技術が考案されている。グラフォエピタキシーは石英基板の表面に段差を形成し、この上に非晶質半導体膜又は多結晶半導体膜を形成してから、レーザービームやヒーターで加熱させ、石英基板上に形成された段差形状を核として、エピタキシャル的な成長層を形成するという技術である。この技術は例えば非特許文献 2 等に開示されている。

【0012】

【非特許文献 2】J. Vac. Sci. Technol., "Grapho-epitaxy of silicon on fused silica using surface micro patterns and laser crystallization", 16(6), 1979, pp 1640-1643.

【0013】また、例えば非特許文献 3 にも、グラフォエピタキシーと呼ばれる半導体膜の結晶化技術について開示されている。これは人為的に作られた非晶質基板表面のレリーフ格子 (surface relief grating) の誘導によって半導体膜のエピ成長を試みるものであった。上記非特許文献 3 には、グラフォエピタキシーの技術とは、絶縁膜の表面に段差を設け、該絶縁膜上に形成された半導体膜に加熱又はレーザー光の照射等の処理を施すことで、該半導体膜の結晶をエピタキシャル成長させることが開示されている。

【0014】

【非特許文献 3】M. W. Geis, et al., "CRYSTALLINE SILICON ON INSULATORS BY GRAPHOEPITAXY" Technical Digest of International Electron Devices Meeting, 1979, pp. 210.

【0015】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、欠陥や結晶粒界が少なく、且つ、配向の揃った高品質の結晶性半導体膜、特に単結晶半導体膜を絶縁表面上に形成しようとするには、帯域熔融法などとして知られているように、半導体膜を高温に加熱して熔融状態としてから再結晶化する方法が主流であった。

【0016】公知のグラフォエピタキシー技術にあっては下地の段差を利用しているので、その段差に沿って結晶が成長し、形成された単結晶半導体膜の表面にその段差が残ることが問題であると考えられていた。また、歪み点が比較的低い大型のガラス基板上にグラフォエピタキシーを用いて単結晶半導体膜を形成することは出来なかった。

【0017】いずれにしても、結晶化によって起こる半導体の体積収縮、下地との熱応力や格子不整合などにより欠陥の少ない結晶性半導体膜を形成することは出来なかった。また、歪みが蓄積され、欠陥が生成される領域を決めて、それを素子形成領域以外に形成されるように位置制御をすることは出来なかった。以上のような理由により、張り合わせ SOI (Silicon on Insulator) を省いては、絶縁表面上に形成された結晶性半導体膜をもって、単結晶基板に形成される MOS トランジスタと同等の品質を得ることはできなかった。

【0018】本発明は上記問題点に鑑みてなされたものであり、歪み点の低いガラス基板上に均一な結晶性半導体膜、特に好ましくは単結晶半導体膜を形成し、高速で電流駆動能力の高い半導体素子により構成される半導体装置を提供することを目的とする。

【0019】また近年、基板上に TFT を形成する技術が大幅に進歩し、アクティブマトリクス型の半導体表示装置への応用開発が進められている。特に、多結晶半導体膜を用いた TFT は、従来の非晶質半導体膜を用いた TFT よりも電界効果移動度 (モビリティともいう) が高いので、高速動作が可能である。そのため、従来基板の外に設けられた駆動回路で行っていた画素の制御を、画素と同一の基板上に形成した駆動回路で行うことが可能である。

【0020】ところで半導体装置に用いる基板は、コストの面から単結晶シリコン基板よりも、ガラス基板が有望視されている。ガラス基板は耐熱性に劣り、熱変形しやすい。そのため、ガラス基板上にポリシリコン TFT を形成する場合において、半導体膜の結晶化にレーザーアニールを用いることは、ガラス基板の熱変形を避けるのに非常に有効である。

【0021】レーザーアニールの特徴は、輻射加熱或いは伝導加熱を利用するアニール法と比較して処理時間を大幅に短縮できることや、半導体又は半導体膜を選択的、局所的に加熱して、基板に殆ど熱的損傷を与えないことなどが上げられている。

【0022】なお、ここでいうレーザーアニール法とは、半導体基板又は半導体膜に形成された損傷層を再結晶化する技術や、基板上に形成された半導体膜を結晶化させる技術を指している。また、半導体基板又は半導体膜の平坦化や表面改質に適用される技術も含んでいる。適用されるレーザー発振装置は、エキシマレーザーに代表される気体レーザー発振装置、YAG レーザーに代表

される固体レーザー発振装置であり、レーザー光の照射によって半導体の表面層を数十ナノ～数十マイクロ秒程度のごく短時間加熱して結晶化させるものとして知られている。

【0023】レーザーはその発振方法により、パルス発振と連続発振の2種類に大別される。パルス発振のレーザーは出力エネルギーが比較的高いため、レーザービームの大きさを数 cm^2 以上として量産性を上げることができる。特に、レーザービームの形状を光学系を用いて加工し、長さ10cm以上の線状にすると、基板へのレーザー光の照射を効率的に行うことができ、量産性をさらに高めることができる。そのため、半導体膜の結晶化には、パルス発振のレーザーを用いるのが主流となりつつあった。

【0024】しかし近年では、半導体膜の結晶化においてパルス発振のレーザーよりも連続発振のレーザーを用いる方が、半導体膜内に形成される結晶の粒径が大きくなることが見出された。半導体膜内の結晶粒径が大きくなると、該半導体膜を用いて形成されるTFTの移動度が高くなる。そのため、連続発振のレーザーはにわかに脚光を浴び始めている。

【0025】パルス発振と連続発振とに大別されるレーザーアニール法を用いて作製される結晶質半導体膜は、一般的に複数の結晶粒が集合して形成される。その結晶粒の位置と大きさはランダムなものであり、結晶粒の位置や大きさを指定して結晶質半導体膜を形成する事は難しい。そのため前記結晶質半導体を島状にパターンニングすることで形成された活性層中には、結晶粒の界面（粒界）が存在することがある。

【0026】結晶粒内と異なり、粒界には非晶質構造や結晶欠陥などに起因する再結合中心や捕獲中心が無数に存在している。この捕獲中心にキャリアがトラップされると、粒界のポテンシャルが上昇し、キャリアに対して障壁となるため、キャリアの電流輸送特性を低下することが知られている。よって、TFTの活性層、特にチャネル形成領域中に粒界が存在すると、TFTの移動度が著しく低下したり、オン電流が低減したり、また粒界において電流が流れるためにオフ電流が増加したりと、TFTの特性に重大な影響を及ぼす。また同じ特性が得られることを前提に作製された複数のTFTにおいて、活性層中の粒界の有無によって特性がばらつきたりする。

【0027】半導体膜にレーザー光を照射したときに、得られる結晶粒の位置と大きさがランダムになるのは、以下の理由による。レーザー光の照射によって完全溶融した液体半導体膜中に固相核生成が発生するまでには、ある程度の時間が掛かる。そして時間の経過と共に、完全溶融領域において無数の結晶核が発生し、該結晶核からそれぞれ結晶が成長すると考えられる。この結晶核の発生する位置は無作為であるため、不均一に結晶核が分布する。そして、互いの結晶粒がぶつかり合ったところ

で結晶成長が終了するため、結晶粒の位置と大きさは、ランダムなものとなる。

【0028】よって、TFTの特性に重大な影響を及ぼすチャネル形成領域を、粒界の影響を排除して単一の結晶粒で形成することが理想的であるが、粒界の存在しない非晶質珪素膜をレーザーアニール法で形成するのは殆ど不可能であった。そのためレーザーアニール法を用いて結晶化された結晶質珪素膜を活性層とするTFTで、単結晶シリコン基板に作製されるMOSトランジスタの特性と同等なものは、今日まで得られていない。

【0029】本発明は上述した問題に鑑み、TFTのチャネル形成領域に粒界が形成されるのを防ぎ、粒界によってTFTの移動度が著しく低下したり、オン電流が低減したり、オフ電流が増加したりするのを防ぐことができるレーザー結晶化法を用いた、半導体装置の生産システムの提供を課題とする。

【0030】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するために本発明は、絶縁膜を複数積層させ、又は絶縁膜を蝕刻して形成された矩形又は帯状の段差形状を有する下地絶縁膜上に、非晶質半導体膜又は結晶性半導体膜を形成し、レーザービームの照射により結晶化させ、少なくとも下地絶縁膜の凹底部に形成された結晶性半導体膜を残存させ、その結晶性半導体膜にチャネル形成領域が配設されるようにTFTを形成するものである。当該チャネル形成領域は、矩形又は帯状の段差形状の凹底部において長手方向に延在させて設けられたものである。

【0031】段差形状を有する下地絶縁膜は、窒化珪素、酸化珪素、窒酸化珪素又は酸化窒化珪素を用いて形成する。段差形状は、当該被膜をエッチングして形成しても良いし、複数の被膜を積層させて形成しても良い。尚、本発明において、窒酸化珪素は、含有する酸素濃度が20atomic%以上30atomic%以下、窒素濃度が20atomic%以上30atomic%以下、水素濃度が10atomic%以上20atomic%以下のものとして扱う。また、酸化窒化珪素は、含有する酸素濃度が55atomic%以上65atomic%以下、窒素濃度が1atomic%以上20atomic%以下、水素濃度は0.1atomic%以上10atomic%以下のものとして扱う。

【0032】矩形又は帯状の段差形状を形成する構成としては、基板全面に酸化珪素又は酸化窒化珪素からなる第1絶縁膜を形成し、その上に矩形又は帯状のパターンで窒化珪素又は窒酸化珪素からなる第2絶縁膜を形成する。或いは、窒化珪素、酸化珪素、窒酸化珪素、酸化窒化珪素から成る矩形又は帯状のパターンで形成された第1絶縁膜の上に、酸化窒化珪素膜で全面に形成される第2絶縁膜を形成する。

【0033】本来、窒化珪素膜は応力が大きいので、この上に結晶性半導体膜を形成すると応力の作用により歪みが形成され好ましくない。酸化珪素膜は内部応力が比

較して小さいので、結晶性半導体膜と界面の密接性が良く、界面単位密度を小さくすることができる。酸化窒化珪素は酸化珪素の特性に窒化珪素に見られる不純物のブロッキング性を兼ね備えた性質を有し、内部応力も比較的小さく制御できるので半導体膜と接する下地絶縁膜として適している。

【0034】段差形状は基板面上のTFTの配列に合わせて形成され、それは必ずしも規則的な周期パターンである必要はない。本発明において、下地絶縁膜に形成される段差形状は結晶化に伴う体積収縮における応力を局部的に集中させ、半導体素子の活性層、特にチャネル形成領域に応力歪みがかからないようにする目的において有効に作用する。

【0035】非晶質半導体膜の結晶化の過程においては、原子の再配列や含有水素の離脱により体積収縮が起こることが知られている。その割合は非晶質半導体膜の作製条件にもよるが、0.1～1%程度であるとされている。その結果結晶質半導体膜には引張り応力が発生し、その大きさは約 1×10^{10} dyn/cm²に及ぶこと推定されている。これは水素を含有する非晶質珪素膜等で顕著であり、結晶性半導体膜を再結晶化させる場合にも同様な現象が発生することが考慮される。結晶化に伴う応力は段差部に集中し、内部応力として蓄積されるか、或いはクラックとして確認することができる。

【0036】勿論、この歪みが蓄積された部分が一切適用できない訳ではなく、複数の矩形又は帯状の段差形状を有する下地絶縁膜上の、それぞれの凹底部に形成された結晶性半導体膜にチャネル形成領域が設けられ、当該チャネル形成領域は、帯状の段差形状の長手方向に延在し、当該結晶性半導体膜を連結し、かつ、連続的に形成された結晶性半導体膜にソース又はドレイン領域が形成が形成された構成としても良い。このような形態により、一つのTFTに複数のチャネル形成領域が設けられたマルチチャネルTFTが形成される。

【0037】或いは、並列に配置された複数の矩形の半導体領域を直列に接続し、その両端に接続する一对の半導体領域が一体形成された結晶性半導体膜を有し、複数の矩形の半導体領域は、絶縁膜を介して交差する電極によりチャネル形成領域が形成され、該チャネル長方向に沿って結晶が延在しているものである。

【0038】下地絶縁膜に形成された段差形状を利用した結晶化には線状に集光される連続発振レーザー発振装置を光源とするレーザービームを照射する。そのレーザービームは、強度分布が長手方向において均一なエネルギー密度分布を有していることが望ましい。短手方向には任意の分布で良く、例えば、ガウス分布等分布を持っていても良い。レーザー処理は、線状に集光される連続発振レーザービームの長手方向と交差する方向に走査して成されるが、この時、長手方向において均一な強度分布を有していることにより、走査方向と平行に延びる結

晶成長を可能にしている。つまり、長手方向に不均一なエネルギー密度分布があると、温度勾配が生じ、それに依存して結晶粒界が延在する結晶が形成されてしまう。

【0039】連続発振レーザービームの光源は、矩形ビーム固体レーザー発振装置であり、代表的にはスラブレザー発振装置を適用することができる。

【0040】レーザービームの照射により半導体膜はその光吸収係数を勘案してほぼ選択的に加熱される。レーザービームの照射により溶融した半導体は、固化の過程で結晶化するが、下地絶縁膜に段差形状があることにより熱容量が異なり、第1絶縁膜と第2絶縁膜とが重なる側端部が最も早く冷却し、そこから結晶成長を図ることができる。

【0041】チャネル形成領域が設けられる矩形の半導体領域の結晶は、該チャネル長方向と平行な方向に延在するものであり、又は結晶方位が揃っているという特徴がある。

【0042】即ち、TFTのチャネル形成領域を形成する領域は、下地絶縁膜の凸上部に形成されるようにすることで、良質な結晶を選択的に使用することができる。或いは、段差部において最も歪みが集中する領域をチャネル形成領域から除外することができる。

【0043】このような構成とし、複数の矩形の半導体領域を複数個並列に配設し、一对のソース及びドレイン領域間に設け、一つのトランジスタを形成することで、素子間の特性の分散を小さくすることができる。また、良質な結晶のみを使うことで、電界効果移動度を向上させることができる。

【0044】尚、本発明でいう非晶質半導体膜とは、狭義の意味で完全な非晶質構造を有するものだけではなく、微細な結晶粒子が含まれた状態、又はいわゆる微結晶半導体膜、局所的に結晶構造を含む半導体膜を含む。代表的には非晶質シリコン膜が適用され、その他に非晶質シリコンゲルマニウム膜、非晶質シリコンカーバイト膜などを適用することもできる。

【0045】また本発明者らは、半導体膜がレーザー光の照射により結晶化する過程において、半導体膜に生じる応力の向きが粒界の位置及び向きと密接に関係することを発見した。図1に、膜厚200nmの非晶質半導体膜に連続発振のレーザー光を、走査速度が5cm/secとなるように照射したときの、レーザー光の走査方向と垂直な方向におけるTEMの断面像を示す。図1

(A)において、10a、10b、10cは結晶の粒界であり、走査方向と垂直な方向におけるその幅はランダムである。

【0046】図1(B)に、図1(A)に示したTEMの断面像を模式的に図示する。図1(B)に示すとおり、粒界10aと粒界10bの間、粒界10bと粒界10cの間において、半導体膜に盛り上がりが見られる。本発明者らは、これは矢印に示す通り、粒界の近傍から

結晶粒の中央部分に向かって基板と平行な方向に応力がかかっているためではないかと考えた。

【0047】そこで本発明者らは、意図的に該半導体膜に応力が集中的にかかる部分を形成することで、粒界が形成される位置を選択的に定めることができるのではないかと考えた。本発明では、基板上に凹凸を設けた絶縁膜を形成し、該絶縁膜上に半導体膜を形成することで、レーザー光による結晶化の際に、該半導体膜に応力が集中的にかかる部分を選択的に形成する。具体的には、該半導体膜にストライプ状（縞状、帯状）または矩形の凹

凸を設ける。そして、該半導体膜に形成されたストライプの凹凸に沿って、または矩形の長軸か短軸の方向に沿って、連続発振のレーザー光を照射する。なおこのとき、連続発振のレーザー光を用いるのが最も好ましいが、パルス発振のレーザー光を用いても良い。なおレーザー光の走査方向に対して垂直な方向における凹部の断面は、矩形、三角形または台形であっても良い。

【0048】レーザー光の照射による結晶化の際、半導体膜の凹部のエッジ近傍または凸部のエッジ近傍において応力集中が起こり、粒界が選択的に形成される。そして半導体膜の凸部の中央付近または凹部の中央付近は、半導体膜の凹部のエッジ近傍または凸部のエッジ近傍と比べて応力が小さいため、比較的粒界が形成されにくい、または形成されても結晶粒が大きくなるので、より優れた結晶性を得ることができる。

【0049】本発明では、レーザー光による結晶化の後、半導体膜の凹部のエッジ近傍または凸部のエッジ近傍をパターニングにより除去し、凹部の中央付近の結晶性が優れている部分をTFTの活性層として積極的に用いることで、TFTのチャンネル形成領域に粒界が形成さ

れるのを防ぐことができ、粒界によってTFTの移動度が著しく低下したり、オン電流が低減したり、オフ電流が増加したりするのを防ぐことができる。なお、どこまでを凹部のエッジ近傍としてパターニングで除去するかは、設計者が適宜定めることができる。

【0050】なお、レーザー光のレーザービームのエッジの近傍は、中央付近に比べて一般的にエネルギー密度が低く、半導体膜の結晶性も劣る場合が多い。そのためレーザー光を走査する際に、後にTFTのチャンネル形成領域となる部分、より好ましくは半導体膜の凹部と、その軌跡のエッジとが重ならないようにする必要がある。

【0051】そこで本発明の生産システムでは、まず設計の段階で得られた、基板上面から見た絶縁膜または半導体膜の形状のデータ（パターン情報）を記憶手段に記憶する。そしてそのパターン情報と、レーザー光のレーザービームの走査方向と垂直な方向における幅とから、少なくともTFTのチャンネル形成領域となる部分と、レーザー光の軌跡のエッジとが重ならないように、レーザー光の走査経路を決定する。そして、マーカーを基準として基板の位置を合わせ、決定された走査経路にしたが

ってレーザー光を基板上の半導体膜に対して照射する。

【0052】上記構成により、基板全体にレーザー光を照射するのではなく、少なくとも必要不可欠な部分にのみレーザー光を走査するようにすることができる。よって、不必要な部分にレーザー光を照射するための時間を省くことができ、よって、レーザー光照射にかかる時間を短縮化することができ、なおかつ基板の処理速度を向上させることができる。また不必要な部分にレーザー光を照射し、基板にダメージが与えられるのを防ぐことができる。

【0053】なお、マーカーは、基板を直接レーザー光等によりエッチングすることで形成しても良いし、凹凸を有する絶縁膜を形成する際に、同時に絶縁膜の一部にマーカーを形成するようにしても良い。また、実際に形成された絶縁膜または半導体膜の形状をCCD等の撮像素子を用いて読み取り、データとして第1の記憶手段に記憶し、第2の記憶手段に設計の段階で得られた絶縁膜または半導体膜のパターン情報を記憶し、第1の記憶手段に記憶されているデータと、第2の記憶手段に記憶されているパターン情報とを照合することで、基板の位置合わせを行うようにしても良い。

【0054】半導体膜の形状を読み取る場合、半導体膜自身が膜厚を有しているので、必ずしも半導体膜の形状と絶縁膜のマスクとは一致しない。よって半導体膜の膜厚を計算に入れてパターン情報との照合を行なうようにする。また必ずしもCCDを用いて形状を把握するのではなく、例えばレーザーダイオードから発せられるレーザー光を絶縁膜または半導体膜に照射し、反射してきた光をモニターすることで、形状を把握するようにしても良い。

【0055】絶縁膜の一部にマーカーを形成したり、絶縁膜の形状をマーカーとして用いることで、マーカー用のマスクを1枚減らすことができ、なおかつ基板にレーザー光で形成するよりもより、正確な位置にマーカーを形成することができ、位置合わせの精度を向上させることができる。

【0056】なお、レーザー光のレーザービームにおけるエネルギー密度は、一般的には完全に均一ではなく、レーザービーム内の位置によりその高さが変わる。本発明では、最低限チャンネル形成領域となる部分、より好ましくは凹部の平らな面全体に、一定のエネルギー密度のレーザー光を照射することが必要である。よって本発明では、レーザー光の走査により、均一なエネルギー密度を有する領域が、最低限チャンネル形成領域となる部分、より好ましくは凹部の平らな面全体と完全に重なるような、エネルギー密度の分布を有するレーザービームを用いることが必要である。上記エネルギー密度の条件を満たすためには、レーザービームの形状を、矩形または線形等にすることが望ましいと考えられる。

【0057】さらにスリットを介し、レーザービームの

うちエネルギー密度の低い部分を遮蔽するようにしても良い。スリットを用いることで、比較的均一なエネルギー密度のレーザー光を凹部の平らな面全体に照射することができ、結晶化を均一に行うことができる。またスリットを設けることで、絶縁膜または半導体膜のパターン情報によって部分的にレーザービームの幅を変えることができ、チャネル形成領域、さらにはTFTの活性層のレイアウトにおける制約を小さくすることができる。なおレーザービームの幅とは、走査方向と垂直な方向におけるレーザービームの長さを意味する。

【0058】また複数のレーザー発振装置から発振されたレーザー光を合成することで得られた1つのレーザービームを、レーザー結晶化に用いても良い。上記構成により、各レーザー光のエネルギー密度の弱い部分を補い合うことができる。

【0059】また半導体膜を成膜した後、大気に曝さないように（例えば希ガス、窒素、酸素等の特定されたガス雰囲気または減圧雰囲気にする）レーザー光の照射を行い、半導体膜を結晶化させても良い。上記構成により、クリーンルーム内における分子レベルでの汚染物質、例えば空気の清浄度を高めるためのフィルター内に含まれるボロン等が、レーザー光による結晶化の際に半導体膜に混入するのを防ぐことができる。

【0060】なお、上記非特許文献2または非特許文献3に記載されているグラフォエピタキシー (graphoepitaxy) と呼ばれる半導体膜の結晶化技術において、エピタキシャル成長に必要な温度は、少なくとも700℃程度は必要であり、ガラス基板上においてエピタキシャル成長を行おうとすると、絶縁膜の凹部のエッジ近傍において半導体膜に粒界が形成されてしまう。本発明では、アイランドのマスクをレイアウトして、該アイランドとなる部分における結晶性を高められるように、絶縁膜の凹部の形状及びエッジの位置を、アイランドのレイアウトに合わせて設計する。具体的には凹部のエッジとアイランドとが重ならないように、凹部の形状、サイズ等を定める。そしてアイランドのレイアウトに合わせて設計された絶縁膜を用い、敢えてエッジ近傍に粒界が形成された半導体膜を形成する。そして該半導体膜の、エッジ近傍における粒界が多く存在する部分をパターニングにより除去し、結晶性の比較的優れている部分をアイランドとして用いる。よって本発明において開示する技術は、従来のグラフォエピタキシーと、段差を設けた絶縁膜上に半導体膜を形成し、該段差を用いて半導体膜を結晶化させる点では一致しているが、従来のグラフォエピタキシーには段差を用いて粒界の位置を制御し、アイランド内の粒界を少なくするという概念は含まれておらず、本発明とは似て非なるものである。

【0061】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。図26において示す斜視図

は、基板9101上に下地絶縁膜として第1絶縁膜9102と帯状にパターン形成された第2絶縁膜9103～9106が形成された形態を示している。ここでは、第2絶縁膜により形成される凹底部が3本示されているが、勿論その数に限定されることはない。基板は市販の無アルカリガラス基板、石英基板、サファイア基板、単結晶又は多結晶半導体基板の表面を絶縁膜で被覆した基板、金属基板の表面を絶縁膜で被覆した基板を適用することができる。

10 【0062】帯状に形成される第2絶縁膜の幅W2は1～10μm、隣接する第2絶縁膜の間隔W1は0.5～10μm、厚さ0.05～0.5μmとすることが適している。この段差形状は規則的な周期パターンである必要はなく、TFT等の半導体素子に合わせて任意に配置すれば良いものである。第2絶縁膜の長さLもその長さに限定はなく、例えばTFTのチャネル形成領域を形成することができる長さがあれば良い。

20 【0063】第1絶縁膜の材料は、酸化珪素又は酸化窒化珪素が適用される。酸化珪素はオルトケイ酸テトラエチル (Tetraethyl Ortho Silicate: TEOS) とO₂とを混合しプラズマCVD法で形成することができる。酸化窒化珪素膜においては、含有する酸素濃度を55atomic%以上65atomic%以下、窒素濃度を1atomic%以上20atomic%以下、水素濃度は0.1atomic%以上10atomic%以下とし、密度が6×10¹¹/cm³以上9×10¹¹/cm³以下、フッ化水素アンモニウム (NH₄HF₂) を7.13%とフッ化アンモニウム (NH₄F) を15.4%含む混合水溶液の20℃におけるエッチングレートは110～130nm/min (500℃、1時間+550℃、4時間の熱処理後では、90～100nm/min) とする。尚、ここで定義したエッチングレートはエッチング溶液として、NH₄HF₂を7.13%、NH₄Fを15.4%を含む水溶液を用い、20℃のときに得られる値である。このような酸化窒化珪素膜は、SiH₄、N₂、Oを原料として用い、プラズマCVD法で形成することができる。

40 【0064】第2絶縁膜の材料は、窒化珪素又は窒酸化珪素が適用される。窒酸化珪素膜においては、含有する酸素濃度が20atomic%以上30atomic%以下、窒素濃度が20atomic%以上30atomic%以下、水素濃度が10atomic%以上20atomic%以下とする。或いは、酸素に対する窒素の組成比を0.6以上1.5以下とする。また、密度が8×10¹¹/cm³以上2×10¹¹/cm³以下とし、フッ化水素アンモニウム (NH₄HF₂) を7.13%とフッ化アンモニウム (NH₄F) を15.4%含む混合水溶液の20℃におけるエッチングレートは60～70nm/min (500℃、1時間+550℃、4時間の熱処理後では、40～50nm/min) であるものを適用する。このような窒酸化珪素膜はSiH₄、NH₃、N₂Oを原料として用い、プラズマCVD法で形成することが

できる。

【0065】第2絶縁膜で形成される段差部の側壁の角度は5~90度の範囲で適宜設定すれば良い。またその断面形状において、矩形の凹凸形状のみでなく鋸刃状の凹凸形状としても良い。

【0066】図27で示すように、この第1絶縁膜9102と第2絶縁膜9103~9105から成る下地絶縁膜上に凸上部、凹底部、および段差部の側面を覆う非晶質半導体膜9106を50~200nmの厚さに形成する。非晶質半導体膜は、珪素、珪素とゲルマニウムの化合物又は合金、珪素と炭素の化合物又は合金を適用することができる。この中で最も適した材料は珪素である。

【0067】そして、この非晶質半導体膜9106に連続発振レーザービーム9107を照射して結晶化を行う。適用されるレーザービームは、光学系にて線状に集光されたものであり、その強度分布が長手方向において均一な領域を有し、短手方向に分布を持っていても良く、光源として用いるレーザー発振装置は、矩形ビーム固体レーザー発振装置が適用され、特に好ましくは、スラブレザー発振装置が適用される。或いは、Nd、Tm、Hoをドープしたロッドを用いた固体レーザー発振装置であり、特にYAG、YVO₄、YLF、YAIO₄などの結晶にNd、Tm、Hoをドープした結晶を使った固体レーザー発振装置にスラブ構造増幅器を組み合わせたものでも良い。そして、図中に矢印で示すように、線状の長手方向に対し交差する方向に走査する。この時、下地絶縁膜に形成される帯状のパターンの長手方向と平行な方向に走査することが最も望ましい。尚、ここでいう線状とは、短手方向の長さに対し、長手方向の長さの比が1対10以上のものを言う。

【0068】スラブ材料としては、Nd:YAG、Nd:GGG(ガドリニウム・ガリウム・ガーネット)、Nd:GsGG(ガドリニウム・スカンジウム・ガリウム・ガーネット)等の結晶が使用される。スラブレザーでは、この板状のレーザー媒質の中を、全反射を繰り返しながらジグザグ光路で進む。

【0069】また、連続発振レーザービームの波長は、非晶質半導体膜の光吸収係数を考慮して400~700nmであることが望ましい。このような波長帯の光は、波長変換素子を用いて基本波の第2高調波、第3高調波を取り出すことで得られる。波長変換素子としてはADP(リン酸二水素化アンモニウム)、Ba₂NaNb₅O₁₅(ニオブ酸バリウムナトリウム)、CdSe(セレンカドミウム)、KDP(リン酸二水素カリウム)、LiNbO₃(ニオブ酸リチウム)、Se、Te、LBO、BBO、KB5などが適用される。特にLBOを用いることが望ましい。代表的な一例は、Nd:YVO₄レーザー発振装置(基本波1064nm)の第2高調波(532nm)を用いる。また、レーザーの発振モードはTEM₀₀モードであるシングルモードを適用する。

【0070】最も適した材料として選ばれる珪素の場合、吸収係数が10⁴~10⁵cm⁻¹である領域はほぼ可視光域にある。ガラスなど可視光透過率の高い基板と、珪素により30~200nmの厚さをもって形成される非晶質半導体膜を結晶化する場合、波長400~700nmの可視光域の光を照射することで、当該半導体領域を選択的に加熱して、下地絶縁膜にダメージを与えずに結晶化を行うことができる。具体的には、非晶質珪素膜に対し、波長532nmの光の侵入長は概略100nm~1000nmであり、膜厚30nm~200nmで形成される非晶質半導体膜9106の内部まで十分達することができる。即ち、半導体膜の内側から加熱することが可能であり、レーザービームの照射領域における半導体膜のほぼ全体を均一に加熱することができる。

【0071】図30はこの結晶化の過程を縦断面図により説明するものであり、図30(A)で示すように基板9101上に第1絶縁膜9102、第2絶縁膜9103~9106、非晶質半導体膜9107が形成された後、図30(B)で示すようにレーザービーム9107の照射により結晶化を行う。結晶化においては、第1絶縁膜9102と第2絶縁膜9103~9106の側壁が接する境界部が最も早く冷却し固化が始まると考えられる。結晶化はそこを端として始まり、凸上部にかけて結晶成長する。凸上部では第1絶縁膜と第2絶縁膜とが積層されているので、他の領域と比較して熱容量が大きくなり冷却速度が遅くなり、大粒径の結晶成長を可能としている。段差部においては結晶成長方向に引っ張られ、また、その形状的要因により歪みが集中して内部応力が蓄積される。

【0072】この様子は模式的に図30(C)で示しているが、結晶性半導体膜9108において、段差部9503において歪みが蓄積され、ひいてはクラック等が形成されることがある。その一方で凹底部9502に形成される結晶は歪みが緩和された結晶性半導体膜が形成される。この凹底部に形成される結晶性半導体膜は実質的に単結晶又は単結晶領域が形成されたものと見なすことができる。

【0073】結晶化終了した後、図28で示すようにエッチングにより結晶性半導体膜から成る活性層9109を形成する。活性層9109においてチャネル形成領域9120~9122(概略点線で囲む領域)は下地絶縁膜の凹底部、即ち第2絶縁膜上に設けられる。凸上部から延びる結晶粒界や歪みが蓄積された段差部の領域を除去して、結晶がチャネル形成領域にかからないようにしている。

【0074】図28で示す活性層9109は、並列に配置された複数の矩形形状の半導体領域と、該矩形形状の半導体領域を接続する一対の半導体領域が一体形成された形状と見る事ができる。活性層における複数の矩形形状の半導体領域のそれぞれにおいて、絶縁膜を介して交差す

る電極を設けることによりチャンネル形成領域をそこに形成することができる。或いは、この活性層の形状は並列に配置された複数の矩形状の半導体領域を直列に接続し、その両端に接続する一対の半導体領域が一体形成された形状と見ることもできる。そして、複数の矩形状の半導体領域は、チャンネル長方向と平行な方向に延在している。或いはチャンネル形成領域において結晶方位が揃っているという特徴を有している。

【0075】その他の形態として、図29で示すように、第2絶縁膜9103~9106上に結晶性半導体膜9110~9112を対応させて形成しても良い。TFTにおいては、ゲート電極の配置により、そこにチャンネル形成領域9123~9125を配設することができる。

【0076】図31は、結晶化に際し適用することのできるレーザー処理装置の構成の一例を示す。図31はレーザー発振装置9301、シャッター9302、高変換ミラー9303~9306、スリット9307、シリンドリカルレンズ9308、9309、載置台9311、載置台9311をX方向及びY方向に変位させる駆動手段9312、9313、当該駆動手段をコントロールする制御手段9314、予め記憶されたプログラムに基づいてレーザー発振装置9301や制御手段9314に信号を送る情報処理手段9315等から成っているレーザー処理装置の構成を正面図と側面図により示すものである。

【0077】シリンドリカルレンズ9308、9309により照射面の断面形状において線状に集光されるレーザービームは、載置台9311上の基板320表面に対し斜めに入射させる。これは、非点収差などの収差により焦点位置がずれ、照射面またはその近傍において線状の集光面を形成することができる。シリンドリカルレンズ9308、9309は合成石英製とすれば、高い透過率が得られ、レンズの表面に施されるコーティングは、レーザービームの波長に対する透過率が99%以上を実現するために適用される。勿論、照射面の断面形状は線状に限定されず、矩形状、楕円形又は長円形など任意な形状としても構わない。いずれにしても、短軸と長軸の比が、1対10~1対100の範囲に含まれるものを指している。また、波長変換素子9310は基本波に対する高調波を得るために備えられている。

【0078】上述の如く、レーザー発振装置は矩形ビーム固体レーザー発振装置が適用され、特に好ましくは、スラブレーザー発振装置が適用される。或いは、YAG、YVO₄、YLF、YAlO₃などの結晶にNd、Tm、Hoをドープした結晶を使った固体レーザー発振装置にスラブ構造増幅器を組み合わせたものでも良い。スラブ材料としては、Nd:YAG、Nd:GGG(ガドリニウム・ガリウム・ガーネット)、Nd:GsGG(ガドリニウム・スカンジウム・ガリウム・ガーネッ

ト)等の結晶が使用される。その他にも、連続発振可能な気体レーザー発振装置、固体レーザー発振装置を適用することもできる。連続発振固体レーザー発振装置としてはYAG、YVO₄、YLF、YAlO₃などの結晶にCr、Nd、Er、Ho、Ce、Co、Ti又はTmをドープした結晶を使ったレーザー発振装置を適用する。発振波長の基本波はドープする材料によっても異なるが、1μmから2μmの波長で発振する。より高い出力を得る為には、ダイオード励起の固体レーザー発振装置が適用され、カスケード接続されていても良い。

【0079】また、載置台9311を駆動手段9312、9313により二軸方向に動かすことにより基板9320のレーザー処理を可能としている。一方の方向への移動は基板9320の一边の長さよりも長い距離を1~200cm/sec、好ましくは5~50cm/secの等速度で連続的に移動させることが可能であり、他方へは線状ビームの長手方向と同程度の距離を不連続にステップ移動させることが可能となっている。レーザー発振装置9101の発振と、載置台9311は、マイクロプロセッサを搭載した情報処理手段9315により同期して作動するようになっている。

【0080】載置台9311は図中で示すX方向に直線運動をすることにより、固定された光学系から照射されるレーザービームで基板全面の処理を可能としている。位置検出手段9316は基板9320がレーザービームの照射位置にあることを検出して、その信号を情報処理手段9315に伝送し、情報処理手段9315によりレーザー発振装置9301の発振動作とのタイミングを同期させている。つまり、基板9320がレーザービームの照射位置にない時は、レーザーの発振を止め、その寿命を延長させている。

【0081】このような構成のレーザー照射装置により基板9320に照射されるレーザービームは、図中に示すX方向又はY方向に相対移動させることにより半導体膜の所望の領域または全面を処理することができる。

【0082】このように、非晶質半導体膜に連続発振レーザービームを照射する結晶化において、下地絶縁膜に段差形状を設けることにより、その部分に結晶化に伴う歪み又は応力を集中させることができ、活性層とする結晶性半導体にその歪み又は応力がかからないようにすることができる。歪み又は応力から開放された結晶性半導体膜にチャンネル形成領域が配設されるようにTFTを形成することにより、高速で電流駆動能力を向上させることが可能となり、素子の信頼性を向上させることも可能となる。

【0083】次に、図2を用いて、本発明で用いられるレーザー光の照射方法について説明する。

【0084】まず、図2(A)に示すように基板100上に絶縁膜101を形成する。絶縁膜101はストライプ状の凸部101aを含んでいる。なおこの凹凸の形成

の仕方については、後段において詳しく説明する。絶縁膜 101 は酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜、窒化珪素膜等を用いることができる。なお、アルカリ金属などの不純物が後に形成される半導体膜内に取り込まれるのを防ぐことができ、後の処理温度に耐え得る絶縁性を有する膜で、なおかつ凹凸を形成することができるのであれば、これらの他の絶縁膜を用いても良い。また 2 つ以上の膜の積層構造であってもよい。

【0085】このとき、絶縁膜 101 と同時に、絶縁膜の一部を利用してマーカーを形成するようにしても良い。

【0086】基板 100 は、後の工程の処理温度に耐える材質であれば良く、例えば石英基板、シリコン基板、バリウムホウケイ酸ガラスまたはアルミノホウケイ酸ガラスなどのガラス基板、金属基板またはステンレス基板の表面に絶縁膜を形成した基板を用いることができる。また、処理温度に耐えうる程度に耐熱性を有するプラスチック基板を用いてもよい。

【0087】次に、絶縁膜 101 を覆うように、半導体膜 102 を形成する。半導体膜 102 は、公知の手段（スパッタ法、LPCVD 法、プラズマ CVD 法等）により成膜することができる。なお、半導体膜は非晶質半導体膜であっても良いし、微結晶半導体膜、結晶性半導体膜であっても良い。また珪素だけではなくシリコンゲルマニウムを用いるようにしても良い。

【0088】このとき、絶縁膜 101 の凹凸に沿って、半導体膜 102 にも凹凸が現れる。なお、絶縁膜 101 の凸部 101a は、後に形成される半導体膜 102 の表面に凹凸が現れるように、半導体膜 102 の膜厚を考慮して形成する必要がある。

【0089】次に、図 2 (A) に示すように、半導体膜 102 にレーザー光を照射し、結晶性が高められた半導体膜（LC 後）103 を形成する。レーザー光のエネルギー密度は、レーザービーム 104 のエッジの近傍において低くなっており、そのためエッジの近傍は結晶粒が小さく、結晶の粒界に沿って突起した部分（リッジ）が出現する。そのため、レーザー光のレーザービーム 104 の軌跡のエッジと、チャネル形成領域となる部分または半導体膜 102 の凸部 101a 間の凹部の平らな面とが重ならないようにする。

【0090】なおレーザー光の走査方向は、矢印に示すように、凸部 101a の方向と平行になるように定める。

【0091】本発明では公知のレーザーを用いることができる。レーザー光は連続発振であることが望ましいが、パルス発振であっても本発明の効果を達成できると考えられる。レーザーは、気体レーザーもしくは固体レーザーを用いることができる。気体レーザーとして、エキシマレーザー、Ar レーザー、Kr レーザーなどがあり、固体レーザーとして、YAG レーザー、YV

O₂ レーザー、YLF レーザー、YAlO₃ レーザー、ガラスレーザー、ルビーレーザー、アレキサンドライドレーザー、Ti:サファイアレーザー、Y₂O₃ レーザーなどが挙げられる。固体レーザーとしては、Cr、Nd、Er、Ho、Ce、Co、Ti、Yb 又は Tm がドーピングされた YAG、YVO₄、YLF、YAlO₃ などの結晶を使ったレーザーが適用される。当該レーザーの基本波はドーピングする材料によって異なり、1 μm 前後の基本波を有するレーザー光が得られる。基本波に対する高調波は、非線形光学素子を用いることで得ることができる。

【0092】またさらに、固体レーザーから発せられた赤外レーザー光を非線形光学素子でグリーンレーザー光に変換後、さらに別の非線形光学素子によって得られる紫外レーザー光を用いることもできる。

【0093】なお、図 2 (A) の、結晶化される前の A-A' における断面図が図 2 (B) に相当し、結晶化された後の B-B' における断面図が図 2 (C) に相当する。レーザー光の照射によって結晶化された半導体膜（LC 後）103 では、凸部のエッジ近傍または凹部のエッジ近傍において応力集中が起こり、粒界 105 が生じやすくなる。図 2 (D) に、結晶化後の半導体膜 103 の凹部の拡大図を示す。矢印が内部応力の向きであり、半導体膜の凸部のエッジ近傍 106 及び凹部のエッジ近傍 107 において応力集中が起こり、粒界 105 が生じると考えられる。しかし、凹部 101a の上部の平坦な部分においては、凸部のエッジ近傍または凹部のエッジ近傍に比較して応力が小さいため、粒界ができにくい、またはできても比較的大きな結晶粒が得られる。

【0094】次に、図 3 (A) に示すように、粒界が多く形成されていると考えられる凸部のエッジ近傍または凹部のエッジ近傍と、凸部とを除去するように、結晶化後の半導体膜 103 をバターニングし、結晶性の優れている凸部 101a 間に位置する凹部の上部に位置する平坦な部分を用い、島状の半導体膜（アイランド）108 を形成する。

【0095】なお本実施例では、凸部のエッジ近傍または凹部のエッジ近傍と、凸部とを一部残す様に半導体膜 103 をバターニングすることで、図 3 (A) に示すような、チャネル形成領域の部分のみ分離したスリット状の活性層として用いるアイランド 108 を形成した。アイランド 108 の A-A' における断面図を図 3 (B) に、B-B' における断面図を図 3 (C) に示す。ソース領域またはドレイン領域となる部分はチャネル形成領域ほど半導体膜の結晶性による TFT の特性への影響が大きい。そのため、結晶性が芳しくない凸部のエッジ近傍または凹部のエッジ近傍を残しておいても然程問題にはならない。

【0096】次に図 4 (A) に示すように、少なくともアイランド 108 のチャネル形成領域となる部分を覆う

ように、ゲート絶縁膜 110 を形成する。なお図 4

(A) では、ソース領域またはドレイン領域となる部分が露出しているが、ゲート絶縁膜 110 でアイランド 108 全体を覆うようにしても良い。

【0097】次に、導電性を有する膜を成膜し、パターニングすることで、ゲート電極 111 を形成する。なお、図 4 (A) の A-A' における断面図を図 4 (B) に示す。ゲート電極 111 は全てのチャネル形成領域と重なっている。

【0098】上記作製工程によって、互いに分離した複数のチャネル形成領域を有する TFT が完成する。このような構成にすることで、チャネル形成領域のチャネル幅を長くすることでオン電流を確保しつつ、TFT を駆動させることで発生した熱を効率的に放熱することができる。

【0099】各チャネル形成領域のチャネル幅を W_{s1} 、各チャネル形成領域間の幅を W_{s0} とすると、 W_{s1} と W_{s0} との比は設計者が適宜設定することができるが、より好ましくは、 $3W_{s1} \approx W_{s0}$ とするのが望ましい。

【0100】次に、本発明の生産システムについて説明する。図 5 に本発明の生産システムのフローチャートを示す。まずアイランドのマスクを設計し、次に絶縁膜の形状をストライプ状または矩形状の凹凸を有するように設計する。このとき、該アイランドの 1 つまたは複数の絶縁膜の凹部の平らな面にレイアウトされるようにする。そして、アイランドを TFT の活性層として用いる場合、チャネル形成領域のキャリアが移動する方向と、絶縁膜のストライプの向きまたは矩形の長辺か短辺方向に揃えるようにすることが望ましいが、用途に応じて意図的に方向を揃えないようにしても良い。

【0101】また、このとき絶縁膜の一部にマーカーが形成されるように、絶縁膜の形状を設計するようにしても良い。

【0102】そして、設計された絶縁膜の形状に関する情報（パターン情報）を、レーザー照射装置が有するコンピューターに入力し、その記憶手段に記憶する。コンピューターでは、入力された絶縁膜のパターン情報と、レーザービームの走査方向に対して垂直な方向における幅とに基づき、レーザー光の走査経路を定める。このとき、レーザー光の軌跡のエッジと、絶縁膜の凹部の平らな面とが重ならないように、走査経路を定めることが重要である。なお、絶縁膜のパターン情報に加えて、アイランドのパターン情報をコンピューターの記憶手段に記憶させ、レーザー光の軌跡のエッジとアイランドまたはアイランドのチャネル形成領域とが重ならないように、走査経路を定めるようにしても良い。

【0103】なお、スリットを設けてレーザービームの幅を制御する場合、コンピューターでは入力された絶縁膜のパターン情報に基づき、走査方向に対して垂直方向における、絶縁膜の凹部の幅を把握する。そして、絶縁

膜の凹部の幅を考慮して、レーザー光の軌跡のエッジと、絶縁膜の凹部の平らな面とが重ならないように、走査方向に対して垂直方向におけるスリットの幅を設定する。

【0104】一方基板上に、設計したパターン情報に従って絶縁膜を形成し、次に、該絶縁膜上に半導体膜を成膜する。そして、半導体膜を成膜した後、基板をレーザー照射装置のステージに設置し、基板の位置合わせを行なう。図 5 では CCD カメラを用いてマーカーを検出し、基板の位置合わせを行う。なお CCD カメラとは、CCD（電荷結合素子）を撮像素子として用いたカメラを意味する。

【0105】なお、ステージに設置された基板の絶縁膜または半導体膜のパターン情報を CCD カメラ等により検出し、コンピューターにおいて CAD によって設計された絶縁膜または半導体膜のパターン情報と、CCD カメラによって得られる、実際に基板上に形成された絶縁膜または半導体膜のパターン情報とを照らし合わせ、基板の位置合わせを行うようにしても良い。

【0106】そして、定められた走査経路にしたがってレーザー光を照射し、半導体膜を結晶化する。

【0107】次に、レーザー光を照射した後、レーザー光照射により結晶性が高められた半導体膜をパターニングし、アイランドを形成する。以下、アイランドから TFT を作製する工程が行われる。TFT の具体的な作製工程は TFT の形状によって異なるが、代表的にはゲート絶縁膜を成膜し、アイランドに不純物領域を形成する。そして、ゲート絶縁膜及びゲート電極を覆うように層間絶縁膜を形成し、該層間絶縁膜にコンタクトホールを形成し、不純物領域の一部を露出させる。そして該コンタクトホールを介して不純物領域に接するように層間絶縁膜上に配線を形成する。

【0108】次に、本発明において用いられるレーザー照射装置の構成について、図 6 を用いて説明する。151 はレーザー発振装置である。図 6 では 4 つのレーザー発振装置を用いているが、レーザー照射装置が有するレーザー発振装置はこの数に限定されない。

【0109】なお、レーザー発振装置 151 は、チラー 152 を用いてその温度を一定に保つようにしても良い。チラー 152 は必ずしも設ける必要はないが、レーザー発振装置 151 の温度を一定に保つことで、出力されるレーザー光のエネルギーが温度によってばらつくのを抑えることができる。

【0110】また 154 は光学系であり、レーザー発振装置 151 から出力された光路を変更したり、そのレーザービームの形状を加工したりして、レーザー光を集光することができる。さらに、図 6 のレーザー照射装置では、光学系 154 によって、複数のレーザー発振装置 151 から出力されたレーザー光のレーザービームを互いに一部を重ね合わせることで、合成することができる。

【0111】なお、レーザー光の進行方向を極短時間で変化させることができるAO変調器153を、被処理物である基板156とレーザー発振装置151との間の光路に設けても良い。また、AO変調器の代わりに、アテニュエーター（光量調整フィルタ）を設けて、レーザー光のエネルギー密度を調整するようにしても良い。

【0112】また、被処理物である基板156とレーザー発振装置151との間の光路に、レーザー発振装置151から出力されたレーザー光のエネルギー密度を測定する手段（エネルギー密度測定手段）165を設け、測定したエネルギー密度の経時変化をコンピューター160において監視するようにしても良い。この場合、レーザー光のエネルギー密度の減衰を補うように、レーザー発振装置151からの出力を高めるようにしても良い。

【0113】合成されたレーザービームは、スリット155を介して被処理物である基板156に照射される。スリット155は、レーザー光を遮ることが可能であり、なおかつレーザー光によって変形または損傷しないような材質で形成するのが望ましい。そして、スリット155はスリットの幅が可変であり、該スリットの幅によってレーザービームの幅を変更することができる。

【0114】なお、スリット155を介さない場合の、レーザー発振装置151から発振されるレーザー光の基板156におけるレーザービームの形状は、レーザーの種類によって異なり、また光学系により成形することもできる。

【0115】基板156はステージ157上に載置されている。図6では、位置制御手段158、159が、被処理物におけるレーザービームの位置を制御する手段に相当しており、ステージ157の位置が、位置制御手段158、159によって制御されている。

【0116】図6では、位置制御手段158がX方向におけるステージ157の位置の制御を行っており、位置制御手段159はY方向におけるステージ157の位置制御を行う。

【0117】また図6のレーザー照射装置は、メモリ等の記憶手段及び中央演算処理装置を兼ね備えたコンピューター160を有している。コンピューター160は、レーザー発振装置151の発振を制御し、レーザー光の走査経路を定め、なおかつレーザー光のレーザービームが定められた走査経路にしたがって走査されるように、位置制御手段158、159を制御し、基板を所定の位置に移動させることができる。

【0118】なお図6では、レーザービームの位置を、基板を移動させることで制御しているが、ガルバノミラー等の光学系を用いて移動させるようにしても良いし、その両方であってもよい。

【0119】さらに図6では、コンピューター160によって、該スリット155の幅を制御し、マスクのパターン情報に従ってレーザービームの幅を変更することが

できる。なおスリットは必ずしも設ける必要はない。

【0120】さらにレーザー照射装置は、被処理物の温度を調節する手段を備えていても良い。また、レーザー光は指向性およびエネルギー密度の高い光であるため、ダンパーを設けて、反射光が不適切な箇所に照射されるのを防ぐようにしても良い。ダンパーは、反射光を吸収させる性質を有していることが望ましく、ダンパー内に冷却水を循環させておき、反射光の吸収により隔壁の温度が上昇するのを防ぐようにしても良い。また、ステージ157に基板を加熱するための手段（基板加熱手段）を設けるようにしても良い。

【0121】なお、マーカをレーザーで形成する場合、マーカ用のレーザー発振装置を設けるようにしても良い。この場合、マーカ用のレーザー発振装置の発振を、コンピューター160において制御するようにしても良い。さらにマーカ用のレーザー発振装置を設ける場合、マーカ用のレーザー発振装置から出力されたレーザー光を集光するための光学系を別途設ける。なおマーカを形成する際に用いるレーザーは、代表的にはYAGレーザー、CO₂レーザー等が挙げられるが、無論この他のレーザーを用いて形成することは可能である。

【0122】またマーカを用いた位置合わせのために、CCDカメラ163を1台、場合によっては数台設けるようにしても良い。なおCCDカメラとは、CCD（電荷結合素子）を撮像素子として用いたカメラを意味する。

【0123】なお、マーカを設けずに、CCDカメラ163によって絶縁膜または半導体膜のパターンを認識し、基板の位置合わせを行うようにしても良い。この場合、コンピューター160に入力されたマスクによる絶縁膜または半導体膜のパターン情報と、CCDカメラ163において収集された実際の絶縁膜または半導体膜のパターン情報とを照らし合わせて、基板の位置情報を把握することができる。この場合マーカを別途設ける必要がない。

【0124】また、基板に入射したレーザー光は該基板の表面で反射し、入射したときと同じ光路を戻す、いわゆる戻り光となるが、該戻り光はレーザーの出力や周波数の変動や、ロッドの破壊などの悪影響を及ぼす。そのため、前記戻り光を取り除きレーザーの発振を安定させるため、アイソレータを設置するようにしても良い。

【0125】なお、図6では、レーザー発振装置を複数台設けたレーザー照射装置の構成について示したが、レーザー発振装置は1台であってもよい。図7にレーザー発振装置が1台の、レーザー照射装置の構成を示す。図7において、201はレーザー発振装置、202はチラーである。また215はエネルギー密度測定装置、203はAO変調器、204は光学系、205はスリット、213はCCDカメラである。基板206はステージ2

07上に設置し、ステージ207の位置はX方向位置制御手段208、Y方向位置制御手段209によって制御されている。そして図6に示したものと同様に、コンピューター210によって、レーザー照射装置が有する各手段の動作が制御されており、図6と異なるのはレーザー発振装置が1つであることである。また光学系204は図6の場合と異なり、1つのレーザー光を集光する機能を有していれば良い。

【0126】このように本発明では、レーザー光による結晶化の後、半導体膜の凹部のエッジ近傍または凸部のエッジ近傍をパターニングにより除去し、凹部の中央付近の結晶性が優れている部分をTFTの活性層として積極的に用いることで、TFTのチャネル形成領域に粒界が形成されるのを防ぐことができ、粒界によってTFTの移動度が著しく低下したり、オン電流が低減したり、オフ電流が増加したりするのを防ぐことができる。なお、どこまでを凹部のエッジ近傍としてパターニングで除去するかは、設計者が適宜定めることができる。

【0127】また、半導体膜全体にレーザー光を走査して照射するのではなく、少なくとも必要不可欠な部分を最低限結晶化できるようにレーザー光を走査することで、半導体膜を結晶化させた後パターニングにより除去される部分にレーザー光を照射する時間を省くことができ、基板1枚あたりにかかる処理時間を大幅に短縮することができる。

【0128】

【実施例】以下、本発明の実施例について説明する。

【0129】（実施例1）本実施例は、段差形状を有する下地絶縁膜上で結晶性半導体膜を形成し、凸上部に形成された結晶性半導体膜にチャネル形成領域が配設されるTFTを作製する一例を示す。

【0130】図32において、ガラス基板9601上に100nmの酸化窒化珪素膜でなる第1絶縁膜9602を形成する。その上に窒化珪素膜を形成し、写真蝕刻により矩形状のパターンを有する第2絶縁膜9603～9607を形成する。酸化窒化珪素膜及び窒化珪素膜はプラズマCVD法で形成する。

【0131】そして、プラズマCVD法により非晶質珪素膜9608を150nmの厚さに形成した後、連続発振レーザービームを照射して結晶化させる。図34はその上面図を示すものであり、A-A'線に対応する縦断面図が図32(A)に対応している。また、第2絶縁膜9603～9607に重ねて一点差線で示す9611～9613はTFTの活性層が形成される位置を示している。

【0132】長手方向に均一なエネルギー密度分布を有する線状レーザービーム9609を走査しながら照射することにより図32(B)で示すように結晶性半導体膜9610が形成される。均一なエネルギー密度分布とは、完全に一定であるもの以外を排除することではな

く、エネルギー密度分布において許容される範囲は±5%である。このようなレーザービームの照射は、図31で示す構成のレーザー処理装置を適用することができる。光学系にて集光したレーザービームは、その強度分布が長手方向において均一な領域を有し、短手方向に分布を持っても良い。結晶化はこの強度分布が長手方向において均一な領域で成されるようにし、これによりレーザービームの走査方向と平行な方向に結晶成長する効力を高めることができる。

【0133】その後、第1絶縁膜9602上に結晶性半導体膜を残存させる形でエッチング処理を施し、活性層9611～9613を形成する。図35はこの段階における上面図を示している。

【0134】図32(D)で示すようにゲート絶縁膜9614を酸化珪素膜で、ゲート電極を形成する導電膜9615をタングステン又はタングステンを含有する合金で形成する。そして、写真蝕刻により図32(E)に示すようにゲート電極9616、9617を形成する。

【0135】さらに、ドーピング処理を行い各活性層にソース及びドレイン領域を形成し、パッシベーション膜9618及び平坦化膜9619を形成する。コンタクトホールを形成した後、平坦化膜9619上に形成される配線9620～9623はアルミニウム、チタンなどを適宜組み合わせ形成する。こうしてシングルチャネルのnチャネル型TFT9630、pチャネル型TFT9631、及びマルチチャネルのnチャネル型TFT9632が形成される。図36はこの状態での上面図を示したものであり、同図に示すA-A'線に対応する縦断面図が図32(F)に対応している。ここでは、シングルチャネルのnチャネル型TFT9630、pチャネル型TFT9631によりインバータ回路を構成した一例を示している。また、図36で示すB-B'線に対応する縦断面図は図33に示されている。

【0136】尚、図37は、シングルチャネルのnチャネル型TFT9630、pチャネル型TFT9631、及びマルチチャネルのnチャネル型TFT9632の等価回路を示す。マルチチャネルのnチャネル型TFT9632は、ソース及びドレイン領域の間に複数のチャネルが並列して設けられ一つのトランジスタを形成している。このように、チャネル形成領域を並列に設けることにより、ソース及びドレイン領域の抵抗、及び/又は低濃度ドレイン領域の抵抗により帰還がかかり、各チャネル間に流れる電流を平準化することができる。このような構成のトランジスタにより、複数の素子間での特性のバラツキを小さくすることができる。

【0137】（実施例2）活性層の形成においては、実施例1で示すように非晶質半導体膜にレーザービームを照射して結晶化させても良いが、一旦、多結晶化した後、さらにレーザービームを照射してその結晶性を高めても良い。このような二段階の結晶化処理は、実施例1

と比較して比較的歪みの少ない結晶性半導体膜を形成することを可能にする。

【0138】図38はその工程を示す縦断面図である。図38(A)において、ガラス基板9501上に100nmの酸化窒化珪素膜でなる第1絶縁膜9502を形成する。その上に酸化珪素膜を形成し、写真蝕刻により矩形状のパターンを有する第2絶縁膜9503~9506を形成する。そして、その上に非晶質珪素膜9507を150nmの厚さで形成する。

【0139】非晶質半導体膜9507の全面に、珪素の結晶化温度を低温化させ、配向性を向上させることが可能な触媒元素としてNiを添加する。Niの添加法に限定はなく、スピン塗布法、蒸着法、スパッタ法などを適用することができる。スピン塗布法による場合には酢酸ニッケル塩が5ppmの水溶液を塗布して触媒元素含有層510を形成する。勿論、触媒元素はNiに限定されるものではなく、他の公知の材料を用いても良い。

【0140】その後、図38(B)で示すように580℃、4時間の加熱処理により非晶質珪素膜9507を結晶化させる。こうして結晶性珪素膜511を得ることができる。この結晶性珪素膜511は棒状または針状の結晶が集合して成り、その各々の結晶は巨視的にはある特定の方向性をもって成長しているため、結晶性が揃っている。また、特定方位の配向率が高いという特徴がある。

【0141】図38(C)で示すように、加熱処理により結晶化した結晶性半導体膜に対し、連続発振レーザービームを照射して結晶性を向上させる。長手方向に均一なエネルギー密度分布を有する線状レーザービーム9505を走査しながら照射することにより結晶性半導体膜511を溶融させ、再結晶化させる。また、結晶性半導体膜511において残存する非晶質領域もこの処理により結晶化させることができる。この再結晶化処理により大粒径化及び配向の制御が成される。また、結晶化の段階で、若干の体積収縮は発生し、その歪みは段差部に蓄積され、第2絶縁膜上の結晶性半導体膜には作用しない形で結晶性半導体膜512を形成することができる。

【0142】以降は、実施例1と同様な処理によりTFTを完成させることができる。

【0143】(実施例3) 段差形状を有する下地絶縁膜の作製方法は、実施例1に従えば、図39(A)で示すようにガラス基板9701上に酸化窒化珪素膜で形成される第1絶縁膜9702、窒化珪素膜で形成される第2絶縁膜9703を積層形成した後、図39(B)で示す様にマスク9704を形成して、第2絶縁膜9703を9705~9708で示すパターンに形成する。エッチング方法の一例はウェットエッチングであり、フッ化水素アンモニウム(NH₄HF₂)を7.13%とフッ化アンモニウム(NH₄F)を15.4%含む混合溶液で比較的選択性良くエッチングすることができる。

【0144】この上に非晶質半導体膜を形成する段階では、下地絶縁膜との界面の汚染の影響を避けるため、プラズマCVD装置の中で酸化窒化珪素膜9709と非晶質半導体膜9710を大気開放することなく連続的に形成すると良い。このような処理方法により清浄な界面を形成することができ、結晶化に際して、界面不純物に起因するような制御されない結晶核の発生を防止することができる。

【0145】以降は実施例1又は2と同様にしてTFTを完成させることができる。

【0146】(実施例4) 段差形状を有する下地絶縁膜の他の作製方法として、図40(A)に示すように、ガラス基板9701上に酸化珪素膜を形成した後、写真蝕刻により酸化珪素膜から成り、矩形又は帯状にパターン形成された絶縁膜9711~9714による矩形又は帯状のパターンを形成する。

【0147】その後、マスク9710を剥離した後、絶縁膜9711~9714によるパターンを覆う形で酸化窒化珪素膜から成る第1絶縁膜9715を形成する。この第1絶縁膜上に非晶質半導体膜9716を形成する。第1絶縁膜として形成する酸化窒化珪素膜は、ガラス基板9701が含有するアルカリ金属等に対しブロッキング性があり、かつ、内部応力が比較的低いので、半導体膜と接する下地絶縁膜として適している。

【0148】以降は実施例1~3のいずれかと同様な処理によりTFTを完成させることができる。

【0149】(実施例5) 本発明は様々な半導体装置に適用できるものであり、実施例1~5に基づいて作製される表示パネルの形態を図41と図42を用いて説明する。

【0150】図41は基板9901には画素部9902、ゲート信号側駆動回路9901a、9901b、データ信号側駆動回路9901c、入出力端子部9908、配線又は配線群9904が備えられている。シールドパターン9905はゲート信号側駆動回路9901a、9901b、データ信号側駆動回路9901c及び当該駆動回路部と入力端子とを接続する配線又は配線群9904と一部が重なっていても良い。このようにすると、表示パネルの額縁領域(画素部の周辺領域)の面積を縮小させることができる。外部入力端子部には、FPC9903が固着されている。

【0151】実施例1~5で示すTFTは画素部9902のスイッチング素子として、さらにゲート信号側駆動回路9901a、9901b、データ信号側駆動回路9901cを構成する能動素子として適用することができる。

【0152】図42は図41で示す画素部9902の一画素の構成を示す一例であり、TFT9801~9803が備えられている。これらは、画素に備える発光素子や液晶素子を制御するそれぞれスイッチング用、リセッ

ト用、駆動用の TFT である。

【0153】これらの TFT の活性層 9812~9814 は、その下層に形成されている下地絶縁膜の凸上部に配置されており、活性層を形成する結晶性半導体膜は実施例 1~4 に基づいて形成することができる。活性層 9812~9814 の上層には、ゲート配線 9815~9817 が形成され、パッシベーション膜及び平坦化膜を介してデータ線 9818、電源線 9819、その他各種配線 9820、9821、及び画素電極 9823 が形成されている。

【0154】このように、本発明は何ら影響を与えることなく表示パネルを完成させることができる。

【0155】（実施例 6）本発明を用いて作製される TFT を搭載した半導体装置は、様々な適用が可能である。その一例は、携帯情報端末（電子手帳、モバイルコンピュータ、携帯電話等）、ビデオカメラ、デジタルカメラ、パーソナルコンピュータ、テレビ受像器、携帯電話、投影型表示装置等が挙げられる。それらの一例を図 43、図 44 に示す。

【0156】図 43 (A) は本発明を適用してテレビ受像器を完成させた一例であり、筐体 3001、支持台 3002、表示部 3003 等により構成されている。本発明により作製される TFT は表示部 3003 に適用され、本発明によりテレビ受像器を完成させることができる。

【0157】図 43 (B) は本発明を適用してビデオカメラを完成させた一例であり、本体 3011、表示部 3012、音声入力部 3013、操作スイッチ 3014、バッテリー 3015、受像部 3016 等により構成されている。本発明により作製される TFT は表示部 3012 に適用され、本発明によりビデオカメラを完成させることができる。

【0158】図 43 (C) は本発明を適用してノート型のパーソナルコンピュータを完成させた一例であり、本体 3021、筐体 3022、表示部 3023、キーボード 3024 等により構成されている。本発明により作製される TFT は表示部 3023 に適用され、本発明によりパーソナルコンピュータを完成させることができる。

【0159】図 43 (D) は本発明を適用して PDA (Personal Digital Assistant) を完成させた一例であり、本体 3031、スタイラス 3032、表示部 3033、操作ボタン 3034、外部インターフェース 3035 等により構成されている。本発明により作製される TFT は表示部 3033 に適用され、本発明により PDA を完成させることができる。

【0160】図 43 (E) は本発明を適用して音響再生装置を完成させた一例であり、具体的には車載用のオーディオ装置であり、本体 3041、表示部 3042、操作スイッチ 3043、3044 等により構成されている。本発明により作製される TFT は表示部 3042 に適用され、本発明によりオーディオ装置を完成させることが

できる。

【0161】図 43 (F) は本発明を適用してデジタルカメラを完成させた一例であり、本体 3051、表示部 (A) 3052、接眼部 3053、操作スイッチ 3054、表示部 (B) 3055、バッテリー 3056 等により構成されている。本発明により作製される TFT は表示部 (A) 3052 および表示部 (B) 3055 に適用され、本発明によりデジタルカメラを完成させることができる。

10 【0162】図 43 (G) は本発明を適用して携帯電話を完成させた一例であり、本体 3061、音声出力部 3062、音声入力部 3063、表示部 3064、操作スイッチ 3065、アンテナ 3066 等により構成されている。本発明により作製される TFT は表示部 3064 に適用され、本発明により携帯電話を完成させることができる。

【0163】図 44 (A) はフロント型プロジェクターであり、投射装置 2601、スクリーン 2602 等を含む。図 44 (B) はリア型プロジェクターであり、本体 2701、投射装置 2702、ミラー 2703、スクリーン 2704 等を含む。

【0164】尚、図 44 (C) は、図 44 (A) 及び図 44 (B) 中における投射装置 2601、2702 の構造の一例を示した図である。投射装置 2601、2702 は、光源光学系 2801、ミラー 2802、2804~2806、ダイクロイックミラー 2803、プリズム 2807、液晶表示装置 2808、位相差板 2809、投射光学系 2810 で構成される。投射光学系 2810 は、投射レンズを含む光学系で構成される。本実施例は三板式の例を示したが、特に限定されず、例えば単板式であってもよい。また、図 44 (C) 中において矢印で示した光路に実施者が適宜、光学レンズや、偏光機能を有するフィルムや、位相差を調節するためのフィルム、IR フィルム等の光学系を設けてもよい。

【0165】また、図 44 (D) は、図 44 (C) 中における光源光学系 2801 の構造の一例を示した図である。本実施例では、光源光学系 2801 は、リフレクター 2811、光源 2812、レンズアレイ 2813、2814、偏光変換素子 2815、集光レンズ 2816 で構成される。なお、図 44 (D) に示した光源光学系は一例であって特に限定されない。例えば、光源光学系に実施者が適宜、光学レンズや、偏光機能を有するフィルムや、位相差を調節するフィルム、IR フィルム等の光学系を設けてもよい。

【0166】尚、ここで示す装置はごく一例であり、これらの用途に限定するものではない。

【0167】（実施例 7）本実施例では、凹凸を有する絶縁膜の形成の仕方について説明する。

【0168】まず、図 8 (A) に示すように、基板 250 上に第 1 の絶縁膜 251 を成膜する。第 1 の絶縁膜 2

51は本実施例では酸化窒化珪素を用いるがこれに限定されず、第2の絶縁膜とエッチングにおける選択比が大きい絶縁膜であれば良い。本実施例では第1の絶縁膜251をCVD装置でSiH₄とN₂Oを用いて50~200nmの厚さになるように形成した。なお第1の絶縁膜は単層であっても、複数の絶縁膜を積層した構造であってもよい。

【0169】次に、図8(B)に示すように、第1の絶縁膜251に接するように第2の絶縁膜252を形成する。第2の絶縁膜252は後の工程においてパターニングし、凹凸を形成したときに、その後に成膜される半導体膜の表面に凹凸が現れる程度の膜厚にする必要がある。本実施例では第2の絶縁膜252として、プラズマCVD法を用いて30nm~300nmの酸化珪素を形成する。

【0170】次に、図8(C)に示すようにマスク253を形成し、第2の絶縁膜252をエッチングする。なお本実施例では、フッ化水素アンモニウム(NH₄HF₂)を7.13%とフッ化アンモニウム(NH₄F)を15.4%含む混合溶液(ステラケミファ社製、商品名LAL500)をエッチャントとし、20℃においてウエットエッチングを行う。このエッチングにより、矩形状またはストライプ状の凸部254が形成される。本明細書では、第1の絶縁膜251と凸部253とを合わせて1つの絶縁膜とみなす。

【0171】次に、第1の絶縁膜251と凸部253を覆うように半導体膜を形成する。本実施例では凸部の厚さが30nm~300nmであるので、半導体膜の膜厚を50~200nmとするのが望ましく、ここでは60nmとする。なお、半導体膜と絶縁膜との間に不純物が混入すると、半導体膜の結晶性に悪影響を与え、作製するTFTの特性バラツキやしきい値電圧の変動を増大させる可能性があるため、絶縁膜と半導体膜とは連続して成膜するのが望ましい。そこで本実施例では、第1の絶縁膜251と凸部253とからなる絶縁膜を形成した後は、酸化珪素膜255を薄く該絶縁膜上に成膜し、その後大気にさらさないように連続して半導体膜256を成膜する。酸化珪素膜の厚さは設計者が適宜設定することができるが、本実施例では5nm~30nm程度とした。

【0172】なお、第2の絶縁膜252をエッチングする際に、凸部をテーパ状にエッチングするようにしても良い。凸部をテーパ状にすることで、絶縁膜上に形成される半導体膜、ゲート絶縁膜、ゲート電極などが凸部のエッジにおいて膜切れするのを防ぐことができる。

【0173】次に、図8とは異なる絶縁膜の形成の仕方について説明する。まず図9(A)に示すように基板260上に第1の絶縁膜を形成する。第1の絶縁膜は、酸化珪素膜、窒化珪素膜、酸化窒化珪素膜などで形成する。

【0174】酸化珪素膜を用いる場合には、プラズマCVD法で、オルトケイ酸テトラエチル(Tetraethyl Orthosilicate: TEOS)とO₂とを混合し、反応圧力40Pa、基板温度300~400℃とし、高周波(13.56MHz)電力密度0.5~0.8W/cm²で放電させて形成することができる。酸化窒化珪素膜を用いる場合には、プラズマCVD法でSiH₄、N₂O、NH₃から作製される酸化窒化珪素膜、またはSiH₄、N₂Oから作製される酸化窒化珪素膜で形成すれば良い。この場合の作製条件は反応圧力20~200Pa、基板温度300~400℃とし、高周波(60MHz)電力密度0.1~1.0W/cm²で形成することができる。また、SiH₄、N₂O、H₂から作製される酸化窒化水素化珪素膜を適用しても良い。窒化珪素膜も同様にプラズマCVD法でSiH₄、NH₃から作製することが可能である。

【0175】第1の絶縁膜は20~200nm(好ましくは30~60nm)の厚さに基板の全面に形成した後、図9(B)に示すように、フォトリソグラフィの技術を用いマスク262を形成する。そして、エッチングにより不要な部分を除去して、ストライプ状または矩形状の凸部263を形成する。第1の絶縁膜261に対してはフッ素系のガスを用いたドライエッチング法を用いても良いし、フッ素系の水溶液を用いたウエットエッチング法を用いても良い。後者の方法を選択する場合には、例えば、フッ化水素アンモニウム(NH₄HF₂)を7.13%とフッ化アンモニウム(NH₄F)を15.4%含む混合溶液(ステラケミファ社製、商品名LAL500)でエッチングすると良い。

【0176】次いで、凸部262及び基板260を覆うように、第2の絶縁膜264を形成する。この層は第1の絶縁膜261と同様に酸化珪素膜、窒化珪素膜、酸化窒化珪素膜などで50~300nm(好ましくは100~200nm)の厚さに形成する。

【0177】上記作製工程によって、凸部262及び第2の絶縁膜264からなる絶縁膜が形成される。なお、第2の絶縁膜264を形成した後、大気に曝さないように連続して半導体膜を成膜するようにすることで、半導体膜と絶縁膜の間に大気中の不純物が混入するのを防ぐことができる。

【0178】(実施例8) 本実施例では、ストライプ状の絶縁膜上に形成された半導体膜を、レーザー光照射により結晶化した後、凹部の基板と平行な面上に、互いに分離されたアイランドを形成し、該アイランドを用いてTFTを作製する例について説明する。

【0179】図10(A)に、本実施例のTFTの構造を示す。図10(A)では、基板150状にストライプ状の凸部151を有する絶縁膜152が形成されている。そして、凸部151間の凹部の上面に、互いに分離された複数のアイランド154が形成されている。そして、アイランド153に接するようにゲート絶縁膜15

4が形成されている。なお、ゲート絶縁膜154は、図10(A)ではアイランドの不純物領域となる部分を露出するように形成されているが、アイランド154全体を覆うように形成されていても良い。

【0180】そして、ゲート絶縁膜154上に、複数の各アイランド153と重なるように複数のゲート電極155が形成されている。複数のゲート電極153は、回路構成によっては互いに接続されていても良い。

【0181】なお、図10(A)のA-A'における断面図が図10(B)に相当し、図10(A)のB-B' 10における断面図が図10(C)に相当する。図10

(C)に示すように、各ゲート電極155は、ゲート絶縁膜154を間に挟んでアイランド153のチャネル形成領域156と重なっている。チャネル形成領域156は同じくアイランド153に含まれる2つの不純物領域157に挟まれている。

【0182】本実施例は実施例1~7と組み合わせて実施することが可能である。

【0183】(実施例9) 本実施例では、絶縁膜の形状のバリエーションについて説明する。

【0184】図11(A)に、本発明の絶縁膜の形状の、一実施例を示す。図11(A)では、基板170上に絶縁膜171が形成されており、該絶縁膜171は複数の凸部172が形成されている。各凸部172は上面から見た形状が矩形である。そして全ての凸部は、その矩形の長辺方向または短辺方向が、矢印で示したレーザー光の走査方向と平行である。

【0185】また、各凸部172はレーザー光の走査方向における幅と、走査方向に対して垂直な方向における幅が、互いに全て同じになっているわけではない。所望 30のアイランドの形状に合わせて絶縁膜の形状を設計することが望ましい。

【0186】図11(B)に、本発明の絶縁膜の形状の、一実施例を示す。図11(B)では、基板180上に絶縁膜181が形成されており、該絶縁膜181は上面から見てスリット状の開口部を有する矩形状の凸部182が形成されている。凸部182は、そのスリットの長辺方向または短辺方向が、矢印で示したレーザー光の走査方向と平行である。

【0187】次に、図11(B)に示したスリット状の 40開口部を有する絶縁膜を用いて形成された、TFTの構成の一例について説明する。

【0188】図12(A)に本実施例のTFTの上面図を示す。図12(A)に示すように、本実施例では内部にスリット状の開口部を有した矩形状の凸部160を有する絶縁膜を用いた。凸部160を覆うように半導体膜を成膜し、該スリット状の開口部の長軸方向に沿ってレーザー光を矢印に示す方向に走査し、該半導体膜を結晶化させる。そして、該半導体膜をパターンニングし、凸部に囲まれた凹部の上面にチャネル形成領域が形成され 50

た、開口部を有するアイランド161を形成する。

【0189】そして、該アイランド161に接するようにゲート絶縁膜162を形成する。なお、図12(A)のA-A'における断面図を図12(B)に、B-B'における断面図を図12(C)に、C-C'における断面図を図12(D)に示す。

【0190】そしてゲート絶縁膜162上に導電性を有する膜を成膜し、該導電膜をパターンニングすることでゲート電極163を形成されている。なおゲート電極163は、ゲート絶縁膜162を間に挟んで、アイランド161のチャネル形成領域164と重なっており、チャネル形成領域164はアイランド161に含まれる2つの不純物領域165に挟まれている。

【0191】そしてゲート電極163、アイランド161及びゲート絶縁膜162を覆うように、第1の層間絶縁膜166が形成されている。第1の層間絶縁膜166は無機絶縁膜からなり、アイランド161にアルカリ金属などのTFTの特性に悪影響を与える物質が混入するのを防ぐ効果がある。

20 【0192】そして、第1の層間絶縁膜166上に有機樹脂からなる第2の層間絶縁膜167が形成されている。そして第2の層間絶縁膜167、第1の層間絶縁膜166及びゲート絶縁膜162は、エッチングにより開口部が形成されており、該開口部を介して2つの不純物領域165と、ゲート電極163とにそれぞれ接続された配線168から169が第2の層間絶縁膜167上に形成されている。

【0193】本実施例においては、チャネル形成領域164が複数形成されており、かつ複数のチャネル形成領域が互いに分離しているので、チャネル形成領域のチャネル幅を長くすることでオン電流を確保しつつ、TFTを駆動させることで発生した熱を効率的に放熱することができる。

【0194】本実施例では、実施例1~8と組み合わせて実施することが可能である。

【0195】(実施例10) 本実施例では、本発明のレーザー結晶化法を用いた、アクティブマトリクス基板の作製方法について、図13~図16を用いて説明する。本明細書ではCMOS回路、及び駆動回路と、画素TFT、保持容量とを有する画素部を同一基板上に形成された基板を、便宜上アクティブマトリクス基板と呼ぶ。

【0196】まず、本実施例ではバリウムホウケイ酸ガラス、またはアルミノホウケイ酸ガラスなどのガラスからなる基板600を用いる。なお、基板600としては、石英基板やシリコン基板、金属基板またはステンレス基板の表面に絶縁膜を形成したものを用いても良い。また、本実施例の処理温度に耐えうる耐熱性が有するプラスチック基板を用いてもよい。

【0197】次いで、基板600上に酸化珪素膜、窒化珪素膜または酸化窒化珪素膜などの絶縁膜から成る絶縁

膜を公知の手段（スパッタ法、LPCVD法、プラズマCVD法等）により、100～300nmの厚さで形成する。

【0198】次に、この絶縁膜に膜厚の厚い部分と薄い部分を形成するために、本実施例では写真蝕刻（フォトリソグラフィ）技術によりレジストのマスク693を形成し、エッチング処理を施す。エッチング量によって段差が決まるが、本実施例では概ね50～100nmとする。例えば、150nm酸化窒化シリコン膜を75nmエッチングするには、フッ酸を含む溶液を用いたウェットエッチングを用いても良いし、 CF_4 を用いたドライエッチングなどを適用することができる。このよう、凸形状が形成された絶縁膜601を形成する。このとき凸領域のレーザー光の走査方向に対して垂直な方向における幅は、作製するTFTの大きさを考慮して適宜決めれば良いが、結晶核の生成数を制御する目的においては2～6 μm 程度の大きさ（直径若しくは対角線長さ）が好ましい（図13（A））。

【0199】次いで、絶縁膜601上に、公知の手段（スパッタ法、LPCVD法、プラズマCVD法等）により25～80nm（好ましくは30～60nm）の厚さで非晶質半導体膜692を形成する（図13

（B））。なお、本実施例では非晶質半導体膜を成膜しているが、微結晶半導体膜、結晶性半導体膜であっても良い。また、非晶質珪素ゲルマニウム膜などの非晶質構造を有する化合物半導体膜を用いても良い。

【0200】次に、非晶質半導体膜692をレーザー結晶化法により結晶化させる。レーザー光の走査方向は、絶縁膜601におけるストライプ状の凸部の延長方向に平行になるようにする。なお、絶縁膜601における凸部が、基板上から見たとき矩形である場合は、該矩形の長辺方向または短辺方向と平行になるように、レーザー光の走査方向を定める。具体的には、レーザー照射装置のコンピューターに入力されたマスクの情報に従って、選択的にレーザー光を照射する。もちろん、レーザー結晶化法だけでなく、他の公知の結晶化法（RTAやファーンズアニール炉を用いた熱結晶化法、結晶化を助長する金属元素を用いた熱結晶化法等）と組み合わせて行ってもよい。なお本実施例では、スリットを用いてレーザービームの幅を、絶縁膜の走査方向に対して垂直な方向における幅に合わせて変える例を示すが、本発明はこれに限定されず、スリットは必ずしも用いる必要はない。

【0201】非晶質半導体膜の結晶化に際し、連続発振が可能な固体レーザーを用い、基本波の第2高調波～第4高調波を用いることで、大粒径の結晶を得ることができる。代表的には、Nd:YVO₄レーザー（基本波1064nm）の第2高調波（532nm）や第3高調波（355nm）を用いるのが望ましい。具体的には、連続発振のYVO₄レーザーから射出されたレーザー光を非線形

光学素子により高調波に変換し、出力10Wのレーザー光を得る。また、共振器の中にYVO₄結晶と非線形光学素子を入れて、高調波を射出する方法もある。そして、好ましくは光学系により照射面にて矩形状または楕円形状のレーザー光に成形して、被処理体に照射する。このときのエネルギー密度は0.01～100MW/cm²程度（好ましくは0.1～10MW/cm²）が必要である。そして、10～2000cm/s程度の速度でレーザー光に対して相対的に半導体膜を移動させて照射する。

【0202】なおレーザー照射は、パルス発振または連続発振の気体レーザーもしくは固体レーザーを用いることができる。気体レーザーとして、エキシマレーザー、Arレーザー、Krレーザーなどがあり、固体レーザーとして、YAGレーザー、YVO₄レーザー、YLFレーザー、YAlO₃レーザー、ガラスレーザー、ルビーレーザー、アレキサンドライドレーザー、Ti:サファイアレーザー、Y₂O₃レーザーなどが挙げられる。固体レーザーとしては、Cr、Nd、Er、Ho、Ce、Co、Ti、Yb又はTmがドーピングされたYAG、YVO₄、YLF、YAlO₃などの結晶を使ったレーザー等も使用可能である。またスラブレザーも用いることができる。当該レーザーの基本波はドーピングする材料によって異なり、1 μm 前後の基本波を有するレーザー光が得られる。基本波に対する高調波は、非線形光学素子を用いることで得ることができる。

【0203】上述したレーザー結晶化によって、結晶性が高められた結晶質半導体膜694が形成される（図13（C））。結晶質半導体膜は、凸部のエッジ近傍または凹部のエッジ近傍において、粒界が発生しやすい。

【0204】次に、結晶性が高められた結晶質半導体膜694を所望の形状にパターニングして、結晶化されたアイランド602～606を形成する（図13（D））。

【0205】また、アイランド602～606を形成した後、TFTのしきい値を制御するために微量な不純物元素（ボロンまたはリン）のドーピングを行ってもよい。

【0206】次いで、アイランド602～606を覆うゲート絶縁膜607を形成する。ゲート絶縁膜607はプラズマCVD法またはスパッタ法を用い、厚さを40～150nmとして珪素を含む絶縁膜で形成する。本実施例では、プラズマCVD法により110nmの厚さで酸化窒化珪素膜（組成比Si=32%、O=59%、N=7%、H=2%）で形成した。勿論、ゲート絶縁膜は酸化窒化珪素膜に限定されるものでなく、他の珪素を含む絶縁膜を単層または積層構造として用いても良い。

【0207】また、酸化珪素膜を用いる場合には、プラズマCVD法でTEOS（Tetraethyl Orthosilicate）とO₂とを混合し、反応圧力40Pa、基板温度300～

400℃とし、高周波(13.56MHz)電力密度0.5~0.8W/cm²で放電させて形成することができる。このようにして作製される酸化珪素膜は、その後400~500℃の熱アニールによりゲート絶縁膜として良好な特性を得ることができる。

【0208】次いで、ゲート絶縁膜607上に膜厚20~100nmの第1の導電膜608と、膜厚100~400nmの第2の導電膜609とを積層形成する(図14(A))。本実施例では、膜厚30nmのTa₂N膜からなる第1の導電膜608と、膜厚370nmのW膜からなる第2の導電膜609を積層形成した。Ta₂N膜はスパッタ法で形成し、Taのターゲットを用い、窒素を含む雰囲気内でスパッタする。また、W膜は、Wのターゲットを用いたスパッタ法で形成した。その他に6フッ化タングステン(WF₆)を用いる熱CVD法で形成することもできる。いずれにしてもゲート電極として使用するためには低抵抗化を図る必要があり、W膜の抵抗率は20μΩcm以下にすることが望ましい。W膜は結晶粒を大きくすることで低抵抗率化を図ることができるが、W膜中に酸素などの不純物元素が多い場合には結晶10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
190
200
210
220
230
240
250
260
270
280
290
300
310
320
330
340
350
360
370
380
390
400
410
420
430
440
450
460
470
480
490
500
510
520
530
540
550
560
570
580
590
600
610
620
630
640
650
660
670
680
690
700
710
720
730
740
750
760
770
780
790
800
810
820
830
840
850
860
870
880
890
900
910
920
930
940
950
960
970
980
990
1000
1010
1020
1030
1040
1050
1060
1070
1080
1090
1100
1110
1120
1130
1140
1150
1160
1170
1180
1190
1200
1210
1220
1230
1240
1250
1260
1270
1280
1290
1300
1310
1320
1330
1340
1350
1360
1370
1380
1390
1400
1410
1420
1430
1440
1450
1460
1470
1480
1490
1500
1510
1520
1530
1540
1550
1560
1570
1580
1590
1600
1610
1620
1630
1640
1650
1660
1670
1680
1690
1700
1710
1720
1730
1740
1750
1760
1770
1780
1790
1800
1810
1820
1830
1840
1850
1860
1870
1880
1890
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
2020
2030
2040
2050
2060
2070
2080
2090
2100
2110
2120
2130
2140
2150
2160
2170
2180
2190
2200
2210
2220
2230
2240
2250
2260
2270
2280
2290
2300
2310
2320
2330
2340
2350
2360
2370
2380
2390
2400
2410
2420
2430
2440
2450
2460
2470
2480
2490
2500
2510
2520
2530
2540
2550
2560
2570
2580
2590
2600
2610
2620
2630
2640
2650
2660
2670
2680
2690
2700
2710
2720
2730
2740
2750
2760
2770
2780
2790
2800
2810
2820
2830
2840
2850
2860
2870
2880
2890
2900
2910
2920
2930
2940
2950
2960
2970
2980
2990
3000
3010
3020
3030
3040
3050
3060
3070
3080
3090
3100
3110
3120
3130
3140
3150
3160
3170
3180
3190
3200
3210
3220
3230
3240
3250
3260
3270
3280
3290
3300
3310
3320
3330
3340
3350
3360
3370
3380
3390
3400
3410
3420
3430
3440
3450
3460
3470
3480
3490
3500
3510
3520
3530
3540
3550
3560
3570
3580
3590
3600
3610
3620
3630
3640
3650
3660
3670
3680
3690
3700
3710
3720
3730
3740
3750
3760
3770
3780
3790
3800
3810
3820
3830
3840
3850
3860
3870
3880
3890
3900
3910
3920
3930
3940
3950
3960
3970
3980
3990
4000
4010
4020
4030
4040
4050
4060
4070
4080
4090
4100
4110
4120
4130
4140
4150
4160
4170
4180
4190
4200
4210
4220
4230
4240
4250
4260
4270
4280
4290
4300
4310
4320
4330
4340
4350
4360
4370
4380
4390
4400
4410
4420
4430
4440
4450
4460
4470
4480
4490
4500
4510
4520
4530
4540
4550
4560
4570
4580
4590
4600
4610
4620
4630
4640
4650
4660
4670
4680
4690
4700
4710
4720
4730
4740
4750
4760
4770
4780
4790
4800
4810
4820
4830
4840
4850
4860
4870
4880
4890
4900
4910
4920
4930
4940
4950
4960
4970
4980
4990
5000
5010
5020
5030
5040
5050
5060
5070
5080
5090
5100
5110
5120
5130
5140
5150
5160
5170
5180
5190
5200
5210
5220
5230
5240
5250
5260
5270
5280
5290
5300
5310
5320
5330
5340
5350
5360
5370
5380
5390
5400
5410
5420
5430
5440
5450
5460
5470
5480
5490
5500
5510
5520
5530
5540
5550
5560
5570
5580
5590
5600
5610
5620
5630
5640
5650
5660
5670
5680
5690
5700
5710
5720
5730
5740
5750
5760
5770
5780
5790
5800
5810
5820
5830
5840
5850
5860
5870
5880
5890
5900
5910
5920
5930
5940
5950
5960
5970
5980
5990
6000
6010
6020
6030
6040
6050
6060
6070
6080
6090
6100
6110
6120
6130
6140
6150
6160
6170
6180
6190
6200
6210
6220
6230
6240
6250
6260
6270
6280
6290
6300
6310
6320
6330
6340
6350
6360
6370
6380
6390
6400
6410
6420
6430
6440
6450
6460
6470
6480
6490
6500
6510
6520
6530
6540
6550
6560
6570
6580
6590
6600
6610
6620
6630
6640
6650
6660
6670
6680
6690
6700
6710
6720
6730
6740
6750
6760
6770
6780
6790
6800
6810
6820
6830
6840
6850
6860
6870
6880
6890
6900
6910
6920
6930
6940
6950
6960
6970
6980
6990
7000
7010
7020
7030
7040
7050
7060
7070
7080
7090
7100
7110
7120
7130
7140
7150
7160
7170
7180
7190
7200
7210
7220
7230
7240
7250
7260
7270
7280
7290
7300
7310
7320
7330
7340
7350
7360
7370
7380
7390
7400
7410
7420
7430
7440
7450
7460
7470
7480
7490
7500
7510
7520
7530
7540
7550
7560
7570
7580
7590
7600
7610
7620
7630
7640
7650
7660
7670
7680
7690
7700
7710
7720
7730
7740
7750
7760
7770
7780
7790
7800
7810
7820
7830
7840
7850
7860
7870
7880
7890
7900
7910
7920
7930
7940
7950
7960
7970
7980
7990
8000
8010
8020
8030
8040
8050
8060
8070
8080
8090
8100
8110
8120
8130
8140
8150
8160
8170
8180
8190
8200
8210
8220
8230
8240
8250
8260
8270
8280
8290
8300
8310
8320
8330
8340
8350
8360
8370
8380
8390
8400
8410
8420
8430
8440
8450
8460
8470
8480
8490
8500
8510
8520
8530
8540
8550
8560
8570
8580
8590
8600
8610
8620
8630
8640
8650
8660
8670
8680
8690
8700
8710
8720
8730
8740
8750
8760
8770
8780
8790
8800
8810
8820
8830
8840
8850
8860
8870
8880
8890
8900
8910
8920
8930
8940
8950
8960
8970
8980
8990
9000
9010
9020
9030
9040
9050
9060
9070
9080
9090
9100
9110
9120
9130
9140
9150
9160
9170
9180
9190
9200
9210
9220
9230
9240
9250
9260
9270
9280
9290
9300
9310
9320
9330
9340
9350
9360
9370
9380
9390
9400
9410
9420
9430
9440
9450
9460
9470
9480
9490
9500
9510
9520
9530
9540
9550
9560
9570
9580
9590
9600
9610
9620
9630
9640
9650
9660
9670
9680
9690
9700
9710
9720
9730
9740
9750
9760
9770
9780
9790
9800
9810
9820
9830
9840
9850
9860
9870
9880
9890
9900
9910
9920
9930
9940
9950
9960
9970
9980
9990
10000

【0209】なお、本実施例では、第1の導電膜608をTa₂N、第2の導電膜609をWとしたが、特に限定されず、いずれもTa、W、Ti、Mo、Al、Cu、Cr、Ndから選ばれた元素、または前記元素を主成分とする合金材料若しくは化合物材料で形成してもよい。また、リン等の不純物元素をドーピングした多結晶珪素膜に代表される半導体膜を用いてもよい。また、AgPdCu合金を用いてもよい。また、第1の導電膜をタンタル(Ta)膜で形成し、第2の導電膜をW膜とする組み合わせ、第1の導電膜を窒化チタン(TiN)膜で形成し、第2の導電膜をW膜とする組み合わせ、第1の導電膜を窒化タンタル(TaN)で形成し、第2の導電膜をWとする組み合わせ、第1の導電膜を窒化タンタル(TaN)膜で形成し、第2の導電膜をAl膜とする組み合わせ、第1の導電膜を窒化タンタル(TaN)膜で形成し、第2の導電膜をCu膜とする組み合わせとしてもよい。

【0210】また、2層構造に限定されず、例えば、タングステン膜、アルミニウムとシリコンの合金(Al-Si)膜、窒化チタン膜を順次積層した3層構造としてもよい。また、3層構造とする場合、タングステンに代えて窒化タングステンを用いてもよいし、アルミニウムとシリコンの合金(Al-Si)膜に代えてアルミニウムとチタンの合金膜(Al-Ti)を用いてもよいし、窒化チタン膜に代えてチタン膜を用いてもよい。

【0211】なお、導電膜の材料によって、適宜最適なエッチングの方法や、エッチャントの種類を選択することが重要である。

【0212】次に、フォトリソグラフィ法を用いてレジストからなるマスク610~615を形成し、電極及び配線を形成するための第1のエッチング処理を行う。第1のエッチング処理では第1及び第2のエッチング条件で行う。(図14(B))本実施例では第1のエッチング条件として、ICP(Inductively Coupled Plasma: 誘導結合型プラズマ)エッチング法を用い、エッチング用ガスにCF₄とCl₂とO₂とを用い、それぞれのガス流量比を25:25:10(sccm)とし、1Paの圧力でコイル型の電極に500WのRF(13.56MHz)電力を投入してプラズマを生成してエッチングを行う。基板側(試料ステージ)にも150WのRF(13.56MHz)電力を投入し、実質的に負の自己バイアス電圧を印加する。この第1のエッチング条件によりW膜をエッチングして第1の導電層の端部をテーパ形状とする。

【0213】この後、レジストからなるマスク610~615を除去せずに第2のエッチング条件に変え、エッチング用ガスにCF₄とCl₂とを用い、それぞれのガス流量比を30:30(sccm)とし、1Paの圧力でコイル型の電極に500WのRF(13.56MHz)電力を投入してプラズマを生成して約30秒程度のエッチングを行った。基板側(試料ステージ)にも20WのRF(13.56MHz)電力を投入し、実質的に負の自己バイアス電圧を印加する。CF₄とCl₂を混合した第2のエッチング条件ではW膜及びTa₂N膜とも同程度にエッチングされる。なお、ゲート絶縁膜上に残渣を残すことなくエッチングするためには、10~20%程度の割合でエッチング時間を増加させると良い。

【0214】上記第1のエッチング処理では、レジストからなるマスクの形状を適したものとすることにより、基板側に印加するバイアス電圧の効果により第1の導電層及び第2の導電層の端部がテーパ形状となる。このテーパ部の角度は15~45°となる。こうして、第1のエッチング処理により第1の導電層と第2の導電層から成る第1の形状の導電層617~622(第1の導電層617a~622aと第2の導電層617b~622b)を形成する。616はゲート絶縁膜であり、第1の形状の導電層617~622で覆われない領域は20~50nm程度エッチングされ薄くなった領域が形成される。

【0215】次いで、レジストからなるマスクを除去せずに第2のエッチング処理を行う。(図14(C))ここでは、エッチングガスにCF₄とCl₂とO₂とを用い、W膜を選択的にエッチングする。この時、第2のエッチング処理により第2の導電層628b~633bを形成する。一方、第1の導電層617a~622aは、ほとんどエッチングされず、第2の形状の導電層628

～633を形成する。

【0216】そして、レジストからなるマスクを除去せずに第1のドーピング処理を行い、アイランドにn型を付与する不純物元素を低濃度に添加する。ドーピング処理はイオンドープ法、若しくはイオン注入法で行えば良い。イオンドープ法の条件はドーズ量を $1 \times 10^{13} \sim 5 \times 10^{14}$ atoms/cm²とし、加速電圧を40～80 kVとして行う。本実施例ではドーズ量を 1.5×10^{13} atoms/cm²とし、加速電圧を60 kVとして行う。n型を付与する不純物元素として15族に属する元素、典型的にはリン(P)または砒素(As)を用いるが、ここではリン(P)を用いる。この場合、導電層628～633がn型を付与する不純物元素に対するマスクとなり、自己整合的に不純物領域623～627が形成される。不純物領域623～627には $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19}$ /cm²の濃度範囲でn型を付与する不純物元素を添加する。

【0217】レジストからなるマスクを除去した後、新たにレジストからなるマスク634a～634cを形成して第1のドーピング処理よりも高い加速電圧で第2のドーピング処理を行う。イオンドープ法の条件はドーズ量を $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{15}$ atoms/cm²とし、加速電圧を60～120 kVとして行う。ドーピング処理は第2の導電層628b～632bを不純物元素に対するマスクとして用い、第1の導電層のテーパ部下方のアイランドに不純物元素が添加されるようにドーピングする。続いて、第2のドーピング処理より加速電圧を下げて第3のドーピング処理を行って図15(A)の状態を得る。イオンドープ法の条件はドーズ量を $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{17}$ atoms/cm²とし、加速電圧を50～100 kVとして行う。第2のドーピング処理および第3のドーピング処理により、第1の導電層と重なる低濃度不純物領域636、642、648には $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{19}$ /cm²の濃度範囲でn型を付与する不純物元素を添加され、高濃度不純物領域635、638、641、644、647には $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{19}$ /cm²の濃度範囲でn型を付与する不純物元素を添加される。

【0218】もちろん、適当な加速電圧にすることで、第2のドーピング処理および第3のドーピング処理は1回のドーピング処理で、低濃度不純物領域および高濃度不純物領域を形成することも可能である。

【0219】次いで、レジストからなるマスクを除去した後、新たにレジストからなるマスク650a～650cを形成して第4のドーピング処理を行う。この第4のドーピング処理により、pチャネル型TFTの活性層となるアイランドに前記一導電型とは逆の導電型を付与する不純物元素が添加された不純物領域653、654、659、660を形成する。第2の導電層628a～632aを不純物元素に対するマスクとして用い、p型を付与する不純物元素を添加して自己整合的に不純物領域を形成する。本実施例では、不純物領域653、65

4、659、660はジボラン(B₂H₆)を用いたイオンドープ法で形成する。(図15(B))この第4のドーピング処理の際には、nチャネル型TFTを形成するアイランドはレジストからなるマスク650a～650cで覆われている。第1乃至3のドーピング処理によって、不純物領域653と654、659と660にはそれぞれ異なる濃度でリンが添加されているが、そのいずれの領域においてもp型を付与する不純物元素の濃度を $1 \times 10^{13} \sim 5 \times 10^{14}$ atoms/cm²となるようにドーピング処理することにより、pチャネル型TFTのソース領域およびドレイン領域として機能するために何ら問題は生じない。

【0220】以上までの工程で、それぞれのアイランドに不純物領域が形成される。

【0221】次いで、レジストからなるマスク650a～650cを除去して第1の層間絶縁膜661を形成する。この第1の層間絶縁膜661としては、プラズマCVD法またはスパッタ法を用い、厚さを100～200 nmとして珪素を含む絶縁膜で形成する。本実施例では、プラズマCVD法により膜厚150 nmの酸化窒化珪素膜を形成した。勿論、第1の層間絶縁膜661は酸化窒化珪素膜に限定されるものでなく、他の珪素を含む絶縁膜を単層または積層構造として用いても良い。

【0222】次いで、図15(C)に示すように、活性化処理としてレーザー照射方法を用いる。レーザーアニール法を用いる場合、結晶化の際に用いたレーザーを使用することが可能である。活性化の場合は、移動速度は結晶化と同じにし、0.01～100 MW/cm²程度(好ましくは0.01～10 MW/cm²)のエネルギー密度が必要となる。また結晶化の際には連続発振のレーザーを用い、活性化の際にはパルス発振のレーザーを用いるようにしても良い。

【0223】また、第1の層間絶縁膜を形成する前に活性化処理を行っても良い。

【0224】そして、加熱処理(300～550℃で1～12時間の熱処理)を行うと水素化を行うことができる。この工程は第1の層間絶縁膜661に含まれる水素によりアイランドのダングリングボンドを終端する工程である。水素化の他の手段として、プラズマ水素化(プラズマにより励起された水素を用いる)や、3～100%の水素を含む雰囲気中で300～650℃で1～12時間の加熱処理を行っても良い。この場合は、第1の層間絶縁膜の存在に関係なく半導体層を水素化することができる。

【0225】次いで、第1の層間絶縁膜661上に無機絶縁膜材料または有機絶縁膜材料から成る第2の層間絶縁膜662を形成する。本実施例では、膜厚1.6 μmのアクリル樹脂膜を形成した。次に、第2の層間絶縁膜662を形成した後、第2の層間絶縁膜662に接するように、第3の層間絶縁膜672を形成する。本実施例

では第3の層間絶縁膜672として、窒化珪素膜を用いた。

【0226】そして、駆動回路686において、各不純物領域とそれぞれ電氣的に接続する配線664~668を形成する。なお、これらの配線は、膜厚50nmのTi膜と、膜厚500nmの合金膜(A1とTiとの合金膜)との積層膜をパターニングして形成する。もちろん、二層構造に限らず、単層構造でもよいし、三層以上の積層構造にしてもよい。また、配線の材料としては、A1とTiに限らない。例えば、Ta₂N膜上にA1やCuを形成し、さらにTi膜を形成した積層膜をパターニングして配線を形成してもよい。(図16)

【0227】また、画素部687においては、画素電極670、ゲート配線669、接続電極668を形成する。この接続電極668によりソース配線(643aと643bの積層)は、画素TFTと電氣的な接続が形成される。また、ゲート配線669は、画素TFTのゲート電極と電氣的な接続が形成される。また、画素電極670は、画素TFTのドレイン領域690と電氣的な接続が形成され、さらに保持容量を形成する一方の電極として機能するアイランド685と電氣的な接続が形成される。また本願では画素電極と接続電極とを同じ材料で形成しているが、画素電極670としてA1またはAgを主成分とする膜、またはそれらの積層膜等の反射性の優れた材料を用いることが望ましい。

【0228】以上の様にして、nチャネル型TFT681とpチャネル型TFT682からなるCMOS回路、及びnチャネル型TFT683を有する駆動回路686と、画素TFT684、保持容量685とを有する画素部687を同一基板上に形成することができる。こうして、アクティブマトリクス基板が完成する。

【0229】駆動回路686のnチャネル型TFT681はチャネル形成領域637、ゲート電極の一部を構成する第1の導電層628aと重なる低濃度不純物領域636(GOLD(Gate Overlapped LDD)領域)、ソース領域またはドレイン領域として機能する高濃度不純物領域652を有している。このnチャネル型TFT681と電極666で接続してCMOS回路を形成するpチャネル型TFT682にはチャネル形成領域640、ソース領域またはドレイン領域として機能する高濃度不純物領域653と、p型を付与する不純物元素が導入された不純物領域654を有している。また、nチャネル型TFT683にはチャネル形成領域643、ゲート電極の一部を構成する第1の導電層630aと重なる低濃度不純物領域642(GOLD領域)、ソース領域またはドレイン領域として機能する高濃度不純物領域656を有している。

【0230】画素部の画素TFT684にはチャネル形成領域646、ゲート電極の外側に形成される低濃度不純物領域645(LDD領域)、ソース領域またはドレ

イン領域として機能する高濃度不純物領域658を有している。また、保持容量685の一方の電極として機能するアイランドには、n型を付与する不純物元素およびp型を付与する不純物元素が添加されている。保持容量685は、絶縁膜616を誘電体として、電極(632aと632bの積層)と、アイランドとで形成している。

【0231】本実施例の画素構造は、ブラックマトリクスを用いることなく、画素電極間の隙間が遮光されるように、画素電極の端部をソース配線と重なるように配置形成する。

【0232】なお本実施例では液晶表示装置に用いられるアクティブマトリクス基板の構成について説明したが、本実施例の作成工程を用いて発光装置を作製することもできる。発光装置とは、基板上に形成された発光素子を該基板とカバー材の間に封入した表示用パネルおよび該表示用パネルにTFT等を実装した表示用モジュールを総称したものである。なお、発光素子は、電場を加えることで発生するルミネッセンス(Electro Luminescence)が得られる有機化合物を含む層(発光層)と陽極層と、陰極層とを有する。

【0233】なお本実施例で用いられる発光素子は、正孔注入層、電子注入層、正孔輸送層または電子輸送層等が、無機化合物単独で、または有機化合物に無機化合物が混合されている材料で形成されている形態をも取り得る。また、これらの層どうしが互いに一部混合していても良い。

【0234】本実施例は、実施例1~9と組み合わせて実施することが可能である。

【0235】(実施例11)本実施例では、半導体膜の結晶化に際し、レーザー光の照射の工程と、触媒を用いて半導体膜を結晶化させる工程とを組み合わせた例について説明する。触媒元素を用いる場合、特開平7-130652号公報、特開平8-78329号公報で開示された技術を用いることが望ましい。

【0236】まず、図17(A)に示すように基板500上に、凸部502を有する絶縁膜501を形成する。そして該絶縁膜501上に半導体膜503を形成する。

【0237】次に触媒元素を用いて半導体膜503を結晶化させる(図17(B))。例えば特開平7-130652号公報に開示されている技術を用いる場合、重量換算で10ppmのニッケルを含む酢酸ニッケル塩溶液を半導体膜503に塗布してニッケル含有層504を形成し、500℃、1時間の脱水素工程の後、500~650℃で4~12時間、例えば550℃、8時間の熱処理を行い、結晶性が高められた半導体膜505を形成する。尚、使用可能な触媒元素は、ニッケル(Ni)の以外にも、ゲルマニウム(Ge)、鉄(Fe)、パラジウム(Pd)、スズ(Sn)、鉛(Pb)、コバルト(Co)、白金(Pt)、銅(Cu)、金(Au)、といっ

た元素を用いても良い。

【0238】そして、レーザー光照射により、NiSPCにより結晶化された半導体膜505から、結晶性がさらに高められた半導体膜506が形成される。レーザー光照射により得られた半導体膜506は触媒元素を含んでおり、レーザー光照射後にその触媒元素を半導体膜506から除去する工程（ゲッタリング）を行う。ゲッタリングは特開平10-135468号公報または特開平10-135469号公報等に記載された技術を用いることができる。

【0239】具体的には、レーザー照射後に得られる半導体膜506の一部にリンを添加した領域507を形成する。、窒素雰囲気中で550～800℃、5～24時間、例えば600℃、12時間の熱処理を行う。すると半導体膜506のリンが添加された領域507がゲッタリングサイトとして働き、半導体膜506中に存在する触媒元素を、リンが添加された507領域に偏析させることができる（図17（D））。

【0240】その後、半導体膜506のリンが添加された507領域をバタニングにより除去することで、触媒元素の濃度を 1×10^{11} atoms/cm²以下好ましくは 1×10^{14} atoms/cm²程度にまで低減されたアイランド508を得ることができる（図17（E））。

【0241】なお、結晶化前の半導体膜に触媒元素を含む溶液を塗布した後に、SPCではなく、レーザー光の照射により結晶成長を行うようにしても良い。

【0242】本実施例は実施例1～11と組み合わせて実施することが可能である。

【0243】（実施例12）本実施例では、複数のレーザービームを重ね合わせることで合成される、レーザービームの形状について説明する。

【0244】図18（A）に、複数のレーザー発振装置からそれぞれ発振されるレーザー光の、スリットを介さない場合の被処理物におけるレーザービームの形状の一例を示す。図18（A）に示したレーザービームは楕円形状を有している。なお本発明において、レーザー発振装置から発振されるレーザー光のレーザービームの形状は、楕円に限定されない。レーザービームの形状はレーザーの種類によって異なり、また光学系により成形することもできる。例えば、ラムダ社製のXeClエキシマレーザー（波長308nm、パルス幅30ns）L3308から射出されたレーザー光の形状は、10mm×30mm（共にビームプロファイルにおける半値幅）の矩形状である。また、YAGレーザーから射出されたレーザー光の形状は、ロッド形状が円筒形であれば円状となり、スラブ型であれば矩形状となる。このようなレーザー光を光学系により、さらに成形することにより、所望の大きさのレーザー光をつくることもできる。

【0245】図18（B）に図18（A）に示したレーザービームの長軸L方向におけるレーザー光のエネルギ

ー密度の分布を示す。図18（A）に示すレーザービームは、図18（B）におけるエネルギー密度のピーク値の $1/e^2$ のエネルギー密度を満たしている領域に相当する。レーザービームが楕円形状であるレーザー光のエネルギー密度の分布は、楕円の中心Oに向かうほど高くなっている。このように図18（A）に示したレーザービームは、中心軸方向におけるエネルギー密度がガウス分布に従っており、エネルギー密度が均一だと判断できる領域が狭くなる。

10 【0246】次に、図18（A）に示したレーザービームを有するレーザー光を合成したときの、レーザービームの形状を、図18（C）に示す。なお図18（C）では4つのレーザー光のレーザービームを重ね合わせることで1つの線状のレーザービームを形成した場合について示しているが、重ね合わせるレーザービームの数はこれに限定されない。

【0247】図18（C）に示すように、各レーザー光のレーザービームは、各楕円の長軸が一致し、なおかつ互いにレーザービームの一部が重なることで合成され、1つのレーザービーム360が形成されている。なお以下、各楕円の中心Oを結ぶことで得られる直線をレーザービーム360の中心軸とする。

【0248】図18（D）に、図18（C）に示した合成後のレーザービームの、中心軸y方向におけるレーザー光のエネルギー密度の分布を示す。なお、図18

（C）に示すレーザービームは、図18（B）におけるエネルギー密度のピーク値の $1/e^2$ のエネルギー密度を満たしている領域に相当する。合成前の各レーザービームが重なり合っている部分において、エネルギー密度が加算される。例えば図示したように重なり合ったビームのエネルギー密度L1とL2を加算すると、ビームのエネルギー密度のピーク値L3とほぼ等しくなり、各楕円の中心Oの間においてエネルギー密度が平坦化される。

【0249】なお、L1とL2を加算するとL3と等しくなるのが理想的だが、現実的には必ずしも等しい値にはならない。L1とL2を加算した値とL3との値のずれの許容範囲は、設計者が適宜設定することが可能である。

40 【0250】レーザービームを単独で用いると、エネルギー密度の分布がガウス分布に従っているため、絶縁膜の平坦な部分に接している半導体膜またはアイランドとなる部分全体に均一なエネルギー密度のレーザー光を照射することが難しい。しかし、図18（D）からわかるように、複数のレーザー光を重ね合わせてエネルギー密度の低い部分を互いに補い合うようにすることで、複数のレーザー光を重ね合わせないで単独で用いるよりも、エネルギー密度が均一な領域が拡大され、半導体膜の結晶性を効率良く高めることができる。

50 【0251】なお、計算によって求めた図18（C）の

B-B'、C-C'におけるエネルギー密度の分布を、図19に示す。なお、図19は、合成前のレーザービームの、ピーク値の $1/e^2$ のエネルギー密度を満たしている領域を基準としている。合成前のレーザービームの短軸方向の長さを $37\mu\text{m}$ 、長軸方向の長さを $410\mu\text{m}$ とし、中心間の距離を $192\mu\text{m}$ としたときの、B-B'、C-C'におけるエネルギー密度は、それぞれ図19(A)、図19(B)に示すような分布を有している。B-B'の方がC-C'よりも弱冠小さくなっているが、ほぼ同じ大きさとみなすことができ、合成前のレーザービームのピーク値の $1/e^2$ のエネルギー密度を満たしている領域における、合成されたレーザービームの形状は、線状と言いつづることができる。

【0252】図20は、合成されたレーザービームのエネルギー分布を示す図である。361で示した領域はエネルギー密度が均一な領域であり、362で示した領域はエネルギー密度が低い領域である。図20において、レーザービームの中心軸方向の長さを W_{111} とし、エネルギー密度が均一な領域361における中心軸方向の長さを W_{111} とする。 W_{111} が W_{111} に比べて大きくなればなるほど、結晶化に用いることができるエネルギー密度が均一な領域361に対する、半導体膜の結晶化に用いることができないエネルギー密度が均一ではない領域362の割合が大きくなる。エネルギー密度が均一ではない領域362のみが照射された半導体膜は、微結晶が生成し結晶性が芳しくない。よって半導体膜のアイランドとなる領域と、領域362のみを重ねないように、走査経路及び絶縁膜の凹凸のレイアウトを定める必要が生じ、領域361に対する領域362の比率が高くなるとその制約はさらに大きくなる。よってスリットを用いて、エネルギー密度が均一ではない領域362のみが絶縁膜の凹部に形成された半導体膜に照射されるのを防ぐことは、走査経路及び絶縁膜の凹凸のレイアウトの際に生じる制約を小さくするのに有効である。

【0253】本実施例は実施例1～11と組み合わせて実施することが可能である。

【0254】(実施例13) 本実施例では、本発明に用いられるレーザー照射装置の光学系と、各光学系とスリットとの位置関係について説明する。

【0255】図21は、レーザービームを4つ合成して1つのレーザービームにする場合の光学系を示している。図21に示す光学系は、6つのシリンドリカルレンズ417～422を有している。矢印の方向から入射した4つのレーザー光は、4つのシリンドリカルレンズ419～422のそれぞれに入射する。そしてシリンドリカルレンズ419、421において成形された2つのレーザー光は、シリンドリカルレンズ417において再びそのレーザービームの形状が成形されて、スリット424を通して被処理物423に照射される。一方シリンドリカルレンズ420、422において成形された2つの

レーザー光は、シリンドリカルレンズ418において再びそのレーザービームの形状が成形されて、スリット424を通して被処理物423に照射される。

【0256】被処理物423における各レーザー光のレーザービームは、互いに一部重なることで合成されて1つのレーザービームを形成している。

【0257】各レンズの焦点距離及び入射角は設計者が適宜設定することが可能であるが、被処理物423に最も近いシリンドリカルレンズ417、418の焦点距離は、シリンドリカルレンズ419～422の焦点距離よりも小さくする。例えば、被処理物423に最も近いシリンドリカルレンズ417、418の焦点距離を20mmとし、シリンドリカルレンズ419～422の焦点距離を150mmとする。そしてシリンドリカルレンズ417、418から被処理物400へのレーザー光の入射角は、本実施例では 25° とし、シリンドリカルレンズ419～422からシリンドリカルレンズ417、418へのレーザー光の入射角を 10° とするように各レンズを設置する。なお、戻り光を防ぎ、また均一な照射を行なうために、レーザー光の基板への入射角度を 0° より大きく、望ましくは $5\sim 30^\circ$ に保つのが望ましい。

【0258】図21では、4つのレーザービームを合成する例について示しており、この場合4つのレーザー発振装置にそれぞれ対応するシリンドリカルレンズを4つと、該4つのシリンドリカルレンズに対応する2つのシリンドリカルレンズとを有している。合成するレーザービームの数はこれに限定されず、合成するレーザービームの数は2以上8以下であれば良い。 n ($n=2, 4, 6, 8$)のレーザービームを合成する場合、 n のレーザー発振装置にそれぞれ対応する n のシリンドリカルレンズと、該 n のシリンドリカルレンズに対応する $n/2$ のシリンドリカルレンズとを有している。 n ($n=3, 5, 7$)のレーザービームを合成する場合、 n のレーザー発振装置にそれぞれ対応する n のシリンドリカルレンズと、該 n のシリンドリカルレンズに対応する $(n+1)/2$ のシリンドリカルレンズとを有している。

【0259】そして、レーザービームを5つ以上重ね合わせるとき、光学系を配置する場所及び干渉等を考慮すると、5つ目以降のレーザー光は基板の反対側から照射するのが望ましく、その場合スリットを基板の反対側にも設ける必要がある。また、基板は透過性を有していることが必要である。

【0260】なお、戻り光がももきた光路をたどって戻るのが防ぐために、基板に対する入射角は、 0° より大きく 90° より小さくなるように保つようにするのが望ましい。

【0261】また、均一なレーザー光の照射を実現するためには、照射面に垂直な平面であって、かつ合成前の各ビームの形状をそれぞれ長方形と見立てたときの短辺を含む面または長辺を含む面のいずれか一方を入射面と

定義すると、前記レーザー光の入射角度 θ は、入射面に含まれる前記短辺または前記長辺の長さが W 、前記照射面に設置され、かつ、前記レーザー光に対して透光性を有する基板の厚さが d であるとき、 $\theta \geq \arctan(W/2d)$ を満たすのが望ましい。この議論は合成前の個々のレーザー光について成り立つ必要がある。なお、レーザー光の軌跡が、前記入射面上にないときは、該軌跡を該入射面に射影したものの入射角度を θ とする。この入射角度 θ でレーザー光が入射されれば、基板の表面での反射光と、前記基板の裏面からの反射光とが干渉せず、一様なレーザー光の照射を行うことができる。以上の議論は、基板の屈折率を1として考えた。実際は、基板の屈折率が1.5前後のものが多く、この数値を考慮に入れると上記議論で算出した角度よりも大きな計算値が得られる。しかしながら、ビームスポットの長手方向の両端のエネルギーは減衰があるため、この部分での干渉の影響は少なく、上記の算出値で十分に干渉減衰の効果が得られる。

【0262】なお本発明に用いられるレーザー照射装置が有する光学系は、本実施例で示した構成に限定されない。

【0263】本実施例は実施例1～12と組み合わせて実施することが可能である。

【0264】（実施例14）楕円形状のレーザービームを有するレーザー光は、走査方向と垂直な方向におけるエネルギー密度の分布がガウス分布に従っているので、エネルギー密度の低い領域の全体に占める割合が、矩形または線形のレーザービームを有するレーザー光に比べて高い。そのため本発明では、レーザー光のレーザービームが、エネルギー密度の分布が比較的均一な矩形または線形であることが望ましい。

【0265】矩形または線形のレーザービームを得られるガスレーザーとして代表的なのはエキシマレーザーであり、固体レーザーとして代表的なのはスラブレザーである。本実施例では、スラブレザーについて説明する。

【0266】図22（A）にスラブ型のレーザー発振装置の構成を一例として示す。図22（A）に示すスラブ型のレーザー発振装置は、ロッド7500と、反射ミラー7501と、出力ミラー7502と、シリンドリカルレンズ7503を有している。

【0267】ロッド7500に励起光を照射すると、ロッド7500内のジグザグの光路をたどって、反射ミラー7501または出射ミラー7502側にレーザー光が出射する。反射ミラー7501側に出射したレーザー光は、反射されて再びロッド7500内に入射し、出射ミラー7502側に出射する。ロッド7500は板状のスラブ媒質を用いたスラブ式であり、出射段階で比較的長い矩形または線形のレーザービームを形成することができる。そして、出射したレーザー光はシリンドリカルレ

ンズ7503において、そのレーザービームの形状がより細くなるよう加工され、レーザー発振装置から出射される。

【0268】次に、スラブ型のレーザー発振装置の、図22（A）に示したものと異なる構成を、図22（B）に示す。図22（B）では、図22（A）に示したレーザー発振装置に、シリンドリカルレンズ7504を追加したものであり、シリンドリカルレンズ7504によって、レーザービームの長さを制御することができる。

【0269】なおコヒーレント長を10cm以上、好ましくは1m以上であると、レーザービームをより細くすることができる。

【0270】また、ロッド7500の温度が過剰に上昇するのを防ぐために、例えば冷却水を循環させるなど、温度の制御をする手段を設けるようにしても良い。

【0271】図22（C）に、シリンドリカルレンズの形状の、一実施例を示す。7509は本実施例のシリンドリカルレンズであり、ホルダー7510により固定されている。そしてシリンドリカルレンズ7509は、円柱面と矩形の平面とが互いに向き合った形状を有しており、円柱面の2本の母線と、向かい合った矩形の2本の辺とが互いに全て平行である。そして、円柱面の2つの母線と、平行な2つの辺とでそれぞれ形成される2つの面は、該矩形の平面と 0° より大きく 90° より小さい角度で交わっている。このように平行な該2つの辺とでそれぞれ形成される2つの面は、該矩形の平面と 90° 未満の角度で交わることで、 90° 以上のときと比べて焦点距離を短くすることができ、よりレーザービームの形状を細くし、線形に近づけることができる。

【0272】本実施例は、実施例1～13と組み合わせて実施することが可能である。

【0273】（実施例15）本実施例では、レーザービームを重ね合わせたときの、各レーザービームの中心間の距離と、エネルギー密度との関係について説明する。

【0274】図23に、各レーザービームの中心軸方向におけるエネルギー密度の分布を実線で、合成されたレーザービームのエネルギー密度の分布を破線で示す。レーザービームの中心軸方向におけるエネルギー密度の値は、一般的にガウス分布に従っている。

【0275】合成前のレーザービームにおいて、ピーク値の $1/e^1$ 以上のエネルギー密度を満たしている中心軸方向の距離を1としたときの、各ピーク間の距離を X とする。また、合成されたレーザービームにおいて、合成後のピーク値と、バレー値の平均値に対するピーク値の割増分を Y とする。シミュレーションで求めた X と Y の関係を、図24に示す。なお図24では、 Y を百分率で表した。

【0276】図24において、エネルギー差 Y は以下の式1の近似式で表される。

【0277】

【式1】 $Y = 60 - 293X + 340X^2$ (Xは2つの解のうち大きい方とする)

【0278】式1に従えば、例えばエネルギー差を5%程度にしたい場合、 $X \approx 0.584$ となるようにすれば良いということがわかる。なお、 $Y = 0$ となるのが理想的だが、実際には実現することが難しく、エネルギー差Yの許容範囲を設計者が適宜設定する必要がある。 $Y = 0$ となるのが理想的だが、それではビームスポットの長さが短くなるので、スループットとのバランスでXを決

10

定すると良い。
【0279】次に、Yの許容範囲について説明する。図25に、レーザービームが楕円形状を有している場合の、中心軸方向におけるビーム幅に対するYVO₄レーザーの出力(W)の分布を示す。斜線で示す領域は、良好な結晶性を得るために必要な出力エネルギーの範囲であり、3.5~6Wの範囲内に合成したレーザー光の出力エネルギーに納まっていれば良いことがわかる。

【0280】合成後のビームスポットの出力エネルギーの最大値と最小値が、良好な結晶性を得るために必要な出力エネルギー範囲にぎりぎりに入るとき、良好な結晶性が得られるエネルギー差Yが最大になる。よって図25の場合は、エネルギー差Yが±26.3%となり、上記範囲にエネルギー差Yが納まっていれば良好な結晶性が得られることがわかる。

20

【0281】なお、良好な結晶性を得るために必要な出力エネルギーの範囲は、どこまでを結晶性が良好だと判断するかによって変わり、また出力エネルギーの分布もレーザービームの形状によって変わってくるので、エネルギー差Yの許容範囲は必ずしも上記値に限定されない。設計者が、良好な結晶性を得るために必要な出力エネルギーの範囲を適宜定め、用いるレーザーの出力エネルギーの分布からエネルギー差Yの許容範囲を設定する必要がある。

30

【0282】本実施例は、実施例1~14と組み合わせで実施することが可能である。

【0283】(実施例16)本発明の半導体装置が有するマルチチャンネルTF Tは、フラットな絶縁膜上において結晶化された半導体膜を用いて形成されるシングルチャンネルTF T及びマルチチャンネルTF Tよりも、S値、

40

移動度、閾値などのばらつきが抑えられる。
【0284】図45(A)に、本発明のn型のマルチチャンネルTF Tの、S値の度数分布を示す。本発明のマルチチャンネルTF Tは、凹凸を有する絶縁膜上において、レーザー光の照射により結晶化された半導体膜を用いている。絶縁膜の凸部と凹部の幅はそれぞれ1.25μm、1.50μmであり、TF Tのチャンネル長は8μm、トータルのチャンネル幅は12μmである。

【0285】また比較のために、図45(B)に、フラットな絶縁膜上において結晶化されたn型のシングル

50

チャンネルTF Tの、S値の度数分布を示す。TF Tのチャンネル長は8μm、チャンネル幅は8μmである。また、図45(C)に、フラットな絶縁膜上において結晶化されたn型のマルチチャンネルTF Tの、S値の度数分布を示す。TF Tのチャンネル長は8μm、トータルのチャンネル幅は12μm、各チャンネルの幅が2μm、チャンネル間の間隔が2μmである。

【0286】図45(B)では標準偏差が $\sigma = 15.8$ mV/d e c.、図45(C)では標準偏差が $\sigma = 19.9$ mV/d e c. なのに対し、図45(A)では標準偏差が $\sigma = 8.1$ mV/d e c. となっており、先の2つに比べて小さい。よって図45(A)に示す本発明のn型のマルチチャンネルTF TはS値のバラツキが抑えられていることがわかる。

【0287】なお、図45(B)のTF Tのチャンネル幅は、図45(A)のTF Tのトータルのチャンネル幅よりも短い。また図45(C)のTF Tは図45(A)のTF Tよりも各チャンネルの幅とチャンネル間の間隔が長い。しかし、これらの条件を考慮に入れても図45(B)及び図45(C)に比べて図45(A)の標準偏差は著しく小さいと考えられ、よって、本発明のnチャンネル型のTF Tは、S値が抑えられるという効果を有すると推測される。

【0288】次に図46(A)に、本発明のn型のマルチチャンネルTF Tの、閾値の度数分布を示す。図46(A)のTF Tの構成は図45(A)の場合と同じである。また比較のために、図46(B)に、フラットな絶縁膜上において結晶化されたn型のシングルチャンネルTF Tの、閾値の度数分布を示す。図46(B)のTF Tの構成は図45(B)の場合と同じである。また、図46(C)に、フラットな絶縁膜上において結晶化されたn型のマルチチャンネルTF Tの、閾値の度数分布を示す。図46(C)のTF Tの構成は図45(B)の場合と同じである。

【0289】図46(B)では標準偏差が $\sigma = 126$ mV、図46(C)では標準偏差が $\sigma = 153$ mVなのに対し、図46(A)では標準偏差が $\sigma = 80$ mVとなっており、先の2つに比べて小さい。よって図46(A)に示す本発明のn型のマルチチャンネルTF Tは閾値のバラツキが抑えられていることがわかる。

【0290】なお、図46(B)のTF Tのチャンネル幅は、図46(A)のTF Tのトータルのチャンネル幅よりも短い。また図46(C)のTF Tは図46(A)のTF Tよりも各チャンネルの幅とチャンネル間の間隔が長い。しかし、これらの条件を考慮に入れても図46(B)及び図46(C)に比べて図46(A)の標準偏差は著しく小さいと考えられ、よって、本発明のnチャンネル型のTF Tは、閾値が抑えられるという効果を有すると推測される。

【0291】次に図47(A)に、本発明のn型のマル

チチャンネルTFTの、移動度の度数分布を示す。図47 (A) のTFTの構成は図45 (A) の場合と同じである。また比較のために、図47 (B) に、フラットな絶縁膜上において結晶化されたn型のシングルチャンネルTFTの、移動度の度数分布を示す。図47 (B) のTFTの構成は図45 (B) の場合と同じである。また、図47 (C) に、フラットな絶縁膜上において結晶化されたn型のマルチチャンネルTFTの、移動度の度数分布を示す。図47 (C) のTFTの構成は図45 (B) の場合と同じである。

【0292】図47 (B) では標準偏差が $\sigma = 7.9\%$ 、図47 (C) では標準偏差が $\sigma = 9.2\%$ なのに対し、図47 (A) では標準偏差が $\sigma = 5.2\%$ となっており、先の2つに比べて小さい。よって図47 (A) に示す本発明のn型のマルチチャンネルTFTは移動度のバラツキが抑えられていることがわかる。なお図47 (A) ではチャンネル幅の設計値を用いて移動度を計算しているので、実際の移動度は2割程度低いと考えられる。

【0293】図47 (B) のTFTのチャンネル幅は、図47 (A) のTFTのトータルのチャンネル幅よりも短い。また図47 (C) のTFTは図47 (A) のTFTよりも各チャンネルの幅とチャンネル間の間隔が長い。しかし、これらの条件を考慮に入れても図47 (B) 及び図47 (C) に比べて図47 (A) の標準偏差は著しく小さいと考えられ、よって、本発明のnチャンネル型のTFTは、移動度が抑えられるという効果を有すると推測される。

【0294】次に図48 (A) に、本発明のp型のマルチチャンネルTFTの、閾値の度数分布を示す。図48 (A) のTFTの構成は、極性が異なるだけで図45 (A) の場合と同じである。また比較のために、図48 (B) に、フラットな絶縁膜上において結晶化されたp型のシングルチャンネルTFTの、閾値の度数分布を示す。図48 (B) のTFTの構成は、極性が異なるだけで図45 (B) の場合と同じである。また、図48 (C) に、フラットな絶縁膜上において結晶化されたp型のマルチチャンネルTFTの、閾値の度数分布を示す。図48 (C) のTFTの構成は、極性が異なるだけで図45 (B) の場合と同じである。

【0295】図48 (B) では標準偏差が $\sigma = 218\text{ mV}$ 、図48 (C) では標準偏差が $\sigma = 144\text{ mV}$ なのに対し、図48 (A) では標準偏差が $\sigma = 77\text{ mV}$ となっており、先の2つに比べて小さい。よって図48 (A) に示す本発明のp型のマルチチャンネルTFTは閾値のバラツキが抑えられていることがわかる。

【0296】なお、図48 (B) のTFTのチャンネル幅は、図48 (A) のTFTのトータルのチャンネル幅よりも短い。また図48 (C) のTFTは図48 (A) のTFTよりも各チャンネルの幅とチャンネル間の間隔が長い。

しかし、これらの条件を考慮に入れても図48 (B) 及び図48 (C) に比べて図48 (A) の標準偏差は著しく小さいと考えられ、よって、本発明のnチャンネル型のTFTは、閾値が抑えられるという効果を有すると推測される。

【0297】次に図49 (A) に、本発明のp型のマルチチャンネルTFTの、移動度の度数分布を示す。図49 (A) のTFTの構成は、極性が異なるだけで図45 (A) の場合と同じである。また比較のために、図49 (B) に、フラットな絶縁膜上において結晶化されたp型のシングルチャンネルTFTの、移動度の度数分布を示す。図49 (B) のTFTの構成は、極性が異なるだけで図45 (B) の場合と同じである。また、図49 (C) に、フラットな絶縁膜上において結晶化されたp型のマルチチャンネルTFTの、移動度の度数分布を示す。図49 (C) のTFTの構成は、極性が異なるだけで図45 (B) の場合と同じである。

【0298】図49 (B) では標準偏差が $\sigma = 7.6\%$ 、図49 (C) では標準偏差が $\sigma = 5.9\%$ なのに対し、図49 (A) では標準偏差が $\sigma = 4.6\%$ となっており、先の2つに比べて小さい。よって図49 (A) に示す本発明のp型のマルチチャンネルTFTは移動度のバラツキが抑えられていることがわかる。なお図49 (A) ではチャンネル幅の設計値を用いて移動度を計算しているので、実際の移動度は2割程度低いと考えられる。

【0299】なお、図49 (B) のTFTのチャンネル幅は、図49 (A) のTFTのトータルのチャンネル幅よりも短い。また図49 (C) のTFTは図49 (A) のTFTよりも各チャンネルの幅とチャンネル間の間隔が長い。しかし、これらの条件を考慮に入れても図49 (B) 及び図49 (C) に比べて図49 (A) の標準偏差は著しく小さいと考えられ、よって、本発明のpチャンネル型のTFTは、移動度が抑えられるという効果を有すると推測される。

【0300】図45～図49に示したように、本発明のマルチチャンネルTFTは特性のバラツキが抑えられるという効果を有している。本発明のマルチチャンネルTFTは、フラットな絶縁膜上において結晶化を行なったシングルチャンネルTFT及びマルチチャンネルTFTに比べて、各チャンネルの結晶方位が回転しやすいので、種々の結晶方位を含んでいる。よって結晶方位に起因する特性のバラツキが平均化され易いのではないかと考えられる。

【0301】(実施例17) 本実施例では、矩形状またはストライプ形状のゲート電極上に絶縁膜を成膜することで、該絶縁膜の表面に凹凸を設ける場合の、本発明の構成について説明する。

【0302】まず図50 (A) に示すように、基板7000上に導電膜を成膜した後パターニングすることで、

矩形状の第1のゲート電極7001、7002を形成する。第1のゲート電極7001、7002の膜厚は40～150nm程度が望ましい。また第1のゲート電極7001、7002はストライプ形状であっても良い。

【0303】次に第1のゲート電極7001、7002を覆うように基板7000上に第1のゲート絶縁膜7003を成膜する。第1のゲート絶縁膜7003の膜厚は40nm～150nm程度が望ましい。第1のゲート絶縁膜7003の表面は、矩形状の第1のゲート電極7001、7002の存在によって、凹凸が形成される。この凹凸は、凸部の幅が1～10μm、凹部の幅が0.5～10μmとするのが望ましく、該範囲に収まるように第1のゲート電極7001、7002のレイアウトを定める。

【0304】次に、第1のゲート絶縁膜7003上に、半導体膜7004を成膜する(図50(B))。半導体膜7004の膜厚は60nm～200nm程度が望ましい。

【0305】次にレーザー光を半導体膜7004に照射することで、図50(C)に示すように、より結晶性が高められた多結晶半導体膜を形成する。多結晶半導体膜はレーザー光の照射によって熔融し、第1のゲート絶縁膜7003の凹部に体積移動し、第1のゲート絶縁膜7003の凸部が露出する。そして該多結晶半導体膜をパターンニングし、島状の半導体膜7005を形成する(図50(C))。

【0306】次に島状の半導体膜7005を覆うように、第2のゲート絶縁膜7006を成膜する(図50(D))。そして第1のゲート絶縁膜7003及び第2のゲート絶縁膜7006を部分的にエッチングしてコンタクトホールを形成し、第1のゲート電極7001、7002の一部を露出させる。

【0307】次に、第1のゲート電極7001、7002の露出した部分と、第2のゲート絶縁膜7006とを覆うように導電膜を成膜し、パターンニングすることで、コンタクトホールにおいて第1のゲート電極7001、7002に接続された第2のゲート電極7007を形成することができる。

【0308】そして、第2のゲート絶縁膜7006を間に挟んで第2のゲート電極7007と重なる部分にチャンネル形成領域が形成されるように、島状の半導体膜7005に導電性を付与する不純物をドーピングする。なお本実施例ではレジストからなるマスクを形成し、複数回にわたってドーピングを行なうことで、ソース/ドレイン領域として機能する第1の不純物領域7008と、LDD領域として機能する第2の不純物領域7009を形成する(図50(E))。

【0309】図50(F)は、図50(E)に示した状態のTFETの上面図であり、図50(F)のA-A'における断面図が図50(E)に相当する。また図50

(F)のB-B'における断面図を図50(G)に示す。

【0310】図50(G)に示す領域7010は、チャンネル形成領域に相当する。チャンネル形成領域7010は、第1のゲート電極7001、7002と、第1のゲート絶縁膜7003を間に挟んで重なり合っている。またチャンネル形成領域7010は、第2のゲート電極7007と、第2のゲート絶縁膜7006を間に挟んで重なり合っている。

【0311】本実施例に示した構成を有するTFETは、チャンネル形成領域7010の上面近傍のみならず、両側面近傍にもチャンネルが形成されるので、オン電流を高めることができる。

【0312】なお図50(C)では、第1のゲート絶縁膜7003の凸部が露出しているが、成膜した半導体膜7004の膜厚によっては第1のゲート絶縁膜7003の凸部を島状の半導体膜7005が覆っている場合もある。この場合、島状の半導体膜7005を表面をエッチングし、第1のゲート絶縁膜7003の凸部を露出させる工程を設けるようにする。

【0313】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明によれば、段差形状を有する下地絶縁膜のパターンに従って、その凸上部に結晶性半導体膜を残存させ、それをTFETの活性層とすることにより、良質な結晶を選択的に使用することができる。即ち、段差部に集中する歪み領域をチャンネル形成領域から除外することができる。

【0314】即ち、非晶質半導体膜に連続発振レーザービームを照射する結晶化において、下地絶縁膜に段差形状を設けることにより、その部分に結晶化に伴う歪み又は応力を集中させることができ、活性層とする結晶性半導体にその歪み又は応力がかからないようにすることができる。歪み又は応力から開放された結晶性半導体膜にチャンネル形成領域が配設されるようにTFETを形成することにより、高速で電流駆動能力を向上させることが可能となり、素子の信頼性を向上させることも可能となる。

【0315】さらに、TFETの特性、具体的にはS値、移動度、閾値などのばらつきを抑えることができる。

【0316】また本発明では、レーザー光による結晶化の後、半導体膜の凹部のエッジ近傍または凸部のエッジ近傍をパターンニングにより除去し、凹部の中央付近の結晶性が優れている部分をTFETの活性層として積極的に用いることで、TFETのチャンネル形成領域に粒界が形成されるのを防ぐことができ、粒界によってTFETの移動度が著しく低下したり、オン電流が低減したり、オフ電流が増加したりするのを防ぐことができる。なお、どこまでを凹部のエッジ近傍としてパターンニングで除去するかは、設計者が適宜定めることができる。

【0317】また、半導体膜全体にレーザー光を走査し

て照射するのではなく、少なくとも必要不可欠な部分を最低限結晶化できるようにレーザー光を走査する。上記構成により、半導体膜を結晶化させた後パターニングにより除去される部分にレーザー光を照射する時間を省くことができ、基板 1 枚あたりにかかる処理時間を大幅に短縮することができる。

【0318】また、複数のレーザー光を重ね合わせてエネルギー密度の低い部分を互いに補い合うようにすることで、複数のレーザー光を重ね合わせないで単独で用いるよりも、半導体膜の結晶性を効率良く高めることができる。

【0319】なお、絶縁膜に凹凸を形成するのではなく、エッチングにより基板自体に凹凸を設けることで、その上に形成される半導体膜に凹凸を設けて、応力集中が起こる部分を意図的に形成するようにしても良い。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 結晶化された半導体膜の TEM の断面像と、断面図を模式的に示した図。

【図 2】 半導体膜にレーザー光を照射している様子を示す図

【図 3】 結晶化された半導体膜をパターニングすることで形成されたアイランドの図。

【図 4】 図 3 に示したアイランドを用いて形成された TFT の構造を示す図。

【図 5】 本発明の生産システムのフローチャートを示す図。

【図 6】 レーザー照射装置の図。

【図 7】 レーザー照射装置の図。

【図 8】 凹凸を有する絶縁膜の作製方法を示す図。

【図 9】 凹凸を有する絶縁膜の作製方法を示す図。

【図 10】 結晶化された半導体膜をパターニングすることで形成されたアイランドの図。

【図 11】 凹凸を有する絶縁膜の形状を示す図。

【図 12】 図 11 (B) に示した絶縁膜を用いて形成された TFT の上面図及び断面図。

【図 13】 本発明を用いた半導体装置の作製方法を示す図。

【図 14】 本発明を用いた半導体装置の作製方法を示す図。

【図 15】 本発明を用いた半導体装置の作製方法を示す図。

【図 16】 本発明を用いた半導体装置の作製方法を示す図。

【図 17】 半導体膜の結晶化の方法を示す図。

【図 18】 レーザービームのエネルギー密度の分布を示す図。

【図 19】 レーザービームのエネルギー密度の分布を示す図。

【図 20】 レーザービームのエネルギー密度の分布を示す図。

【図 21】 光学系の図。

【図 22】 光学系の図。

【図 23】 重ね合わせたレーザービームの中心軸方向におけるエネルギー密度の分布を示す図。

【図 24】 レーザービームの中心間の距離とエネルギー差の関係を示す図。

【図 25】 レーザービームの中心軸方向における出力エネルギーの分布を示す図。

【図 26】 本発明の半導体装置の構成とその作製方法について説明する斜視図。

【図 27】 本発明の半導体装置の構成とその作製方法について説明する斜視図。

【図 28】 本発明の半導体装置の構成とその作製方法について説明する斜視図。

【図 29】 本発明の半導体装置の構成とその作製方法について説明する斜視図。

【図 30】 本発明に係る結晶化工程の詳細を説明する縦断面図。

【図 31】 本発明に適用するレーザー照射装置の一態様を示す配置図。

【図 32】 本発明の半導体装置の作製方法について説明する縦断面図。

【図 33】 本発明の半導体装置の作製方法について説明する縦断面図。

【図 34】 本発明に係る結晶化工程の詳細を説明する上面図。

【図 35】 本発明の半導体装置の作製方法について説明する上面図。

【図 36】 本発明の半導体装置の作製方法について説明する上面図。

【図 37】 図 36 に示す TFT の上面図に対応する等価回路図。

【図 38】 本発明に係る結晶化工程の詳細を説明する縦断面図。

【図 39】 本発明に係る下地絶縁膜と非晶質半導体膜の作製方法を説明する縦断面図。

【図 40】 本発明に係る下地絶縁膜と非晶質半導体膜の作製方法を説明する縦断面図

【図 41】 表示パネルの外観図。

【図 42】 表示パネルの画素部の構造を説明する上面図。

【図 43】 半導体装置の一例を示す図。

【図 44】 プロジェクターの一例を示す図。

【図 45】 S 値の度数分布を示す図。

【図 46】 閾値の度数分布を示す図。

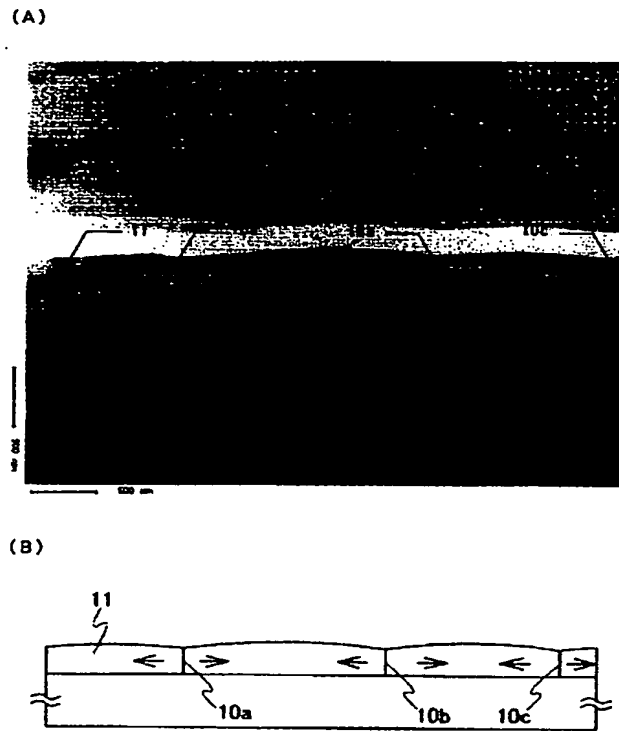
【図 47】 移動度の度数分布を示す図。

【図 48】 閾値の度数分布を示す図。

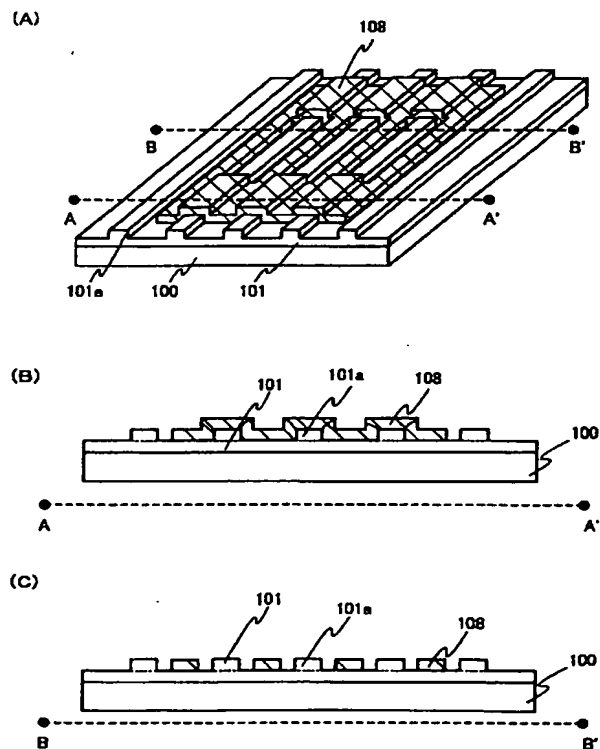
【図 49】 移動度の度数分布を示す図。

【図 50】 本発明の半導体装置の作製方法を示す図。

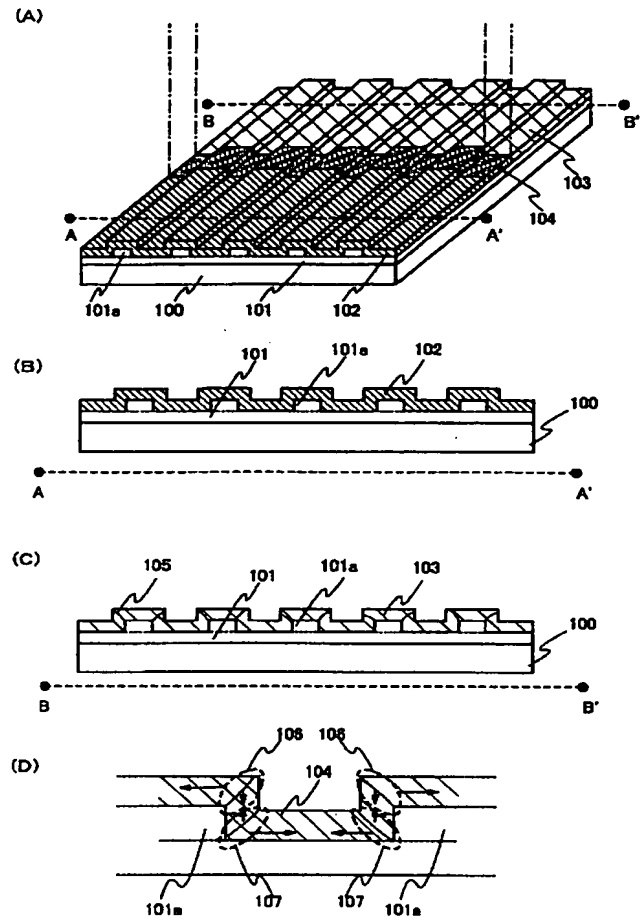
【図1】



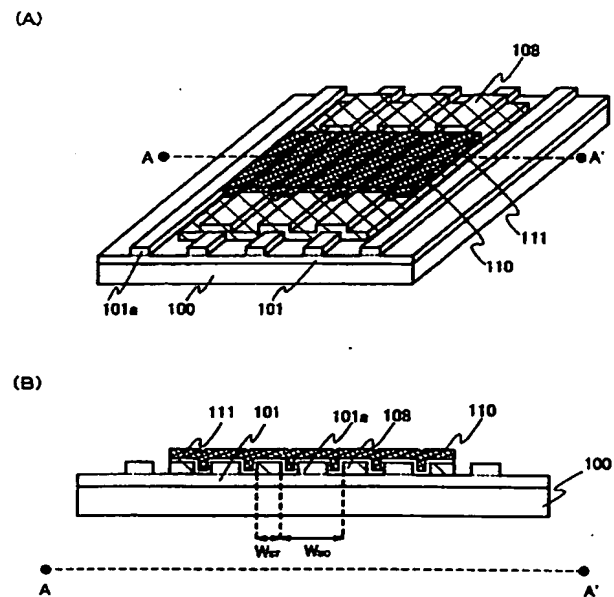
【図3】



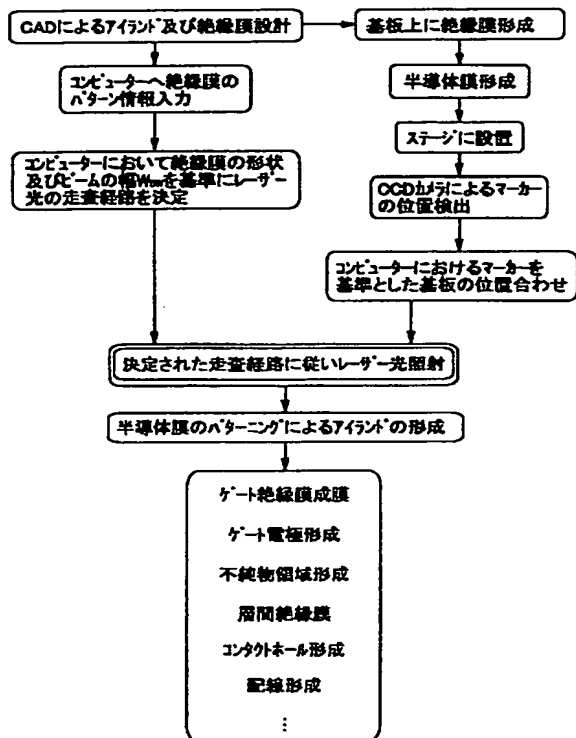
【図2】



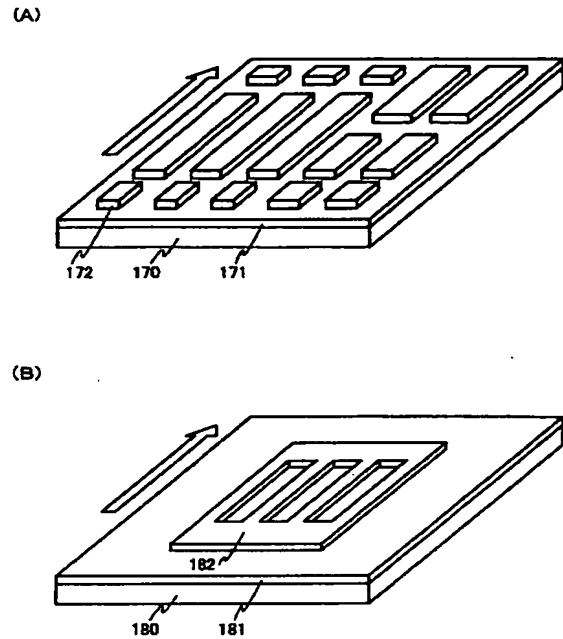
【図4】



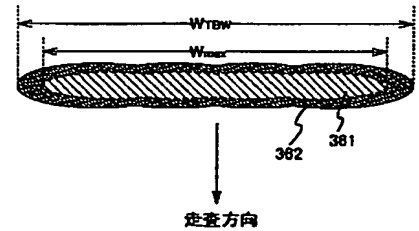
【図 5】



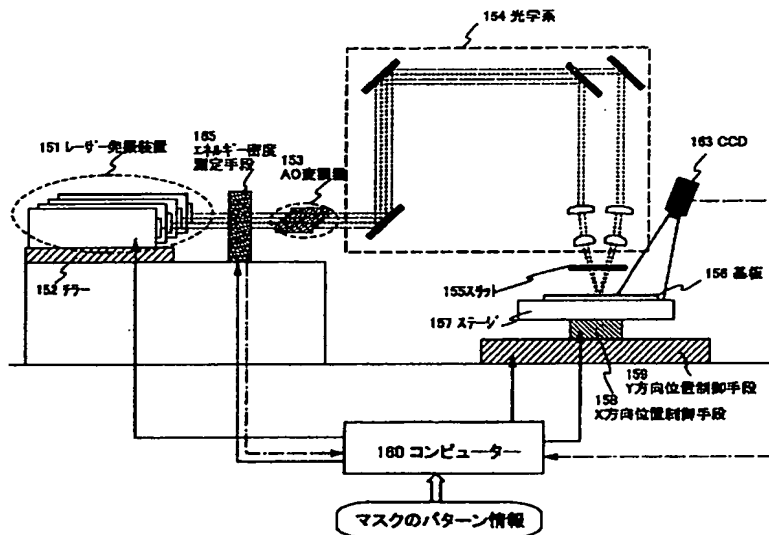
【図 11】



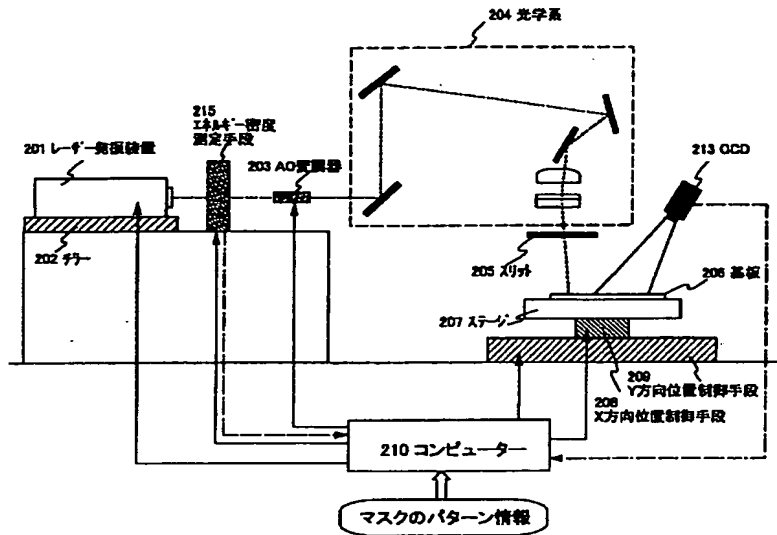
【図 20】



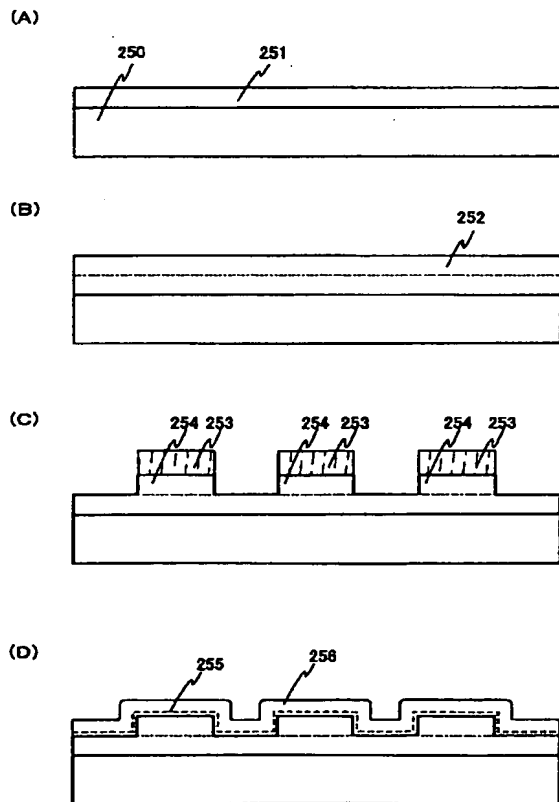
【図 6】



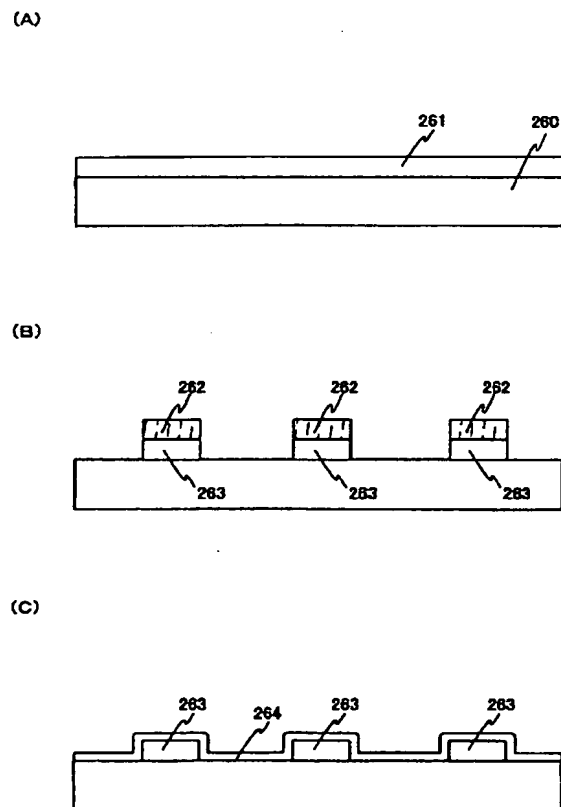
【図7】



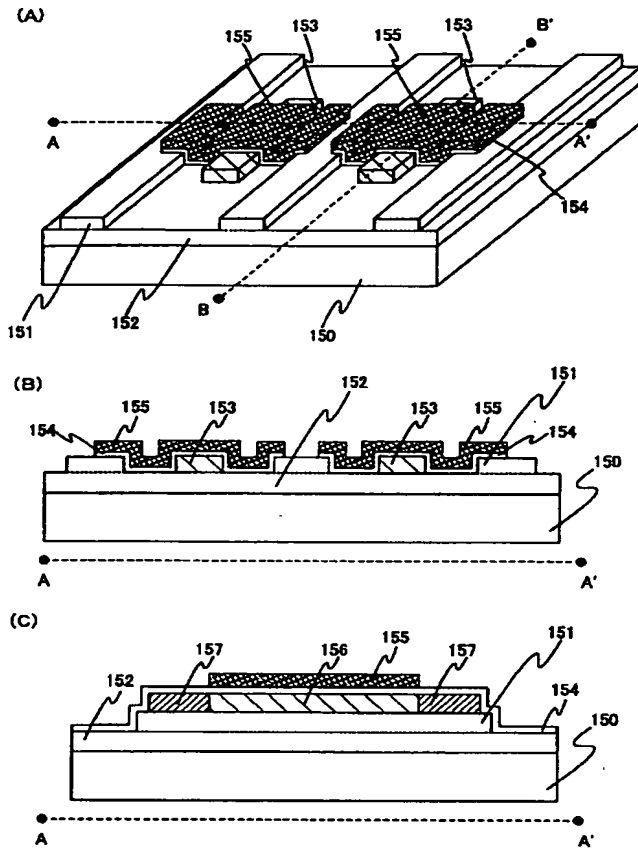
【図8】



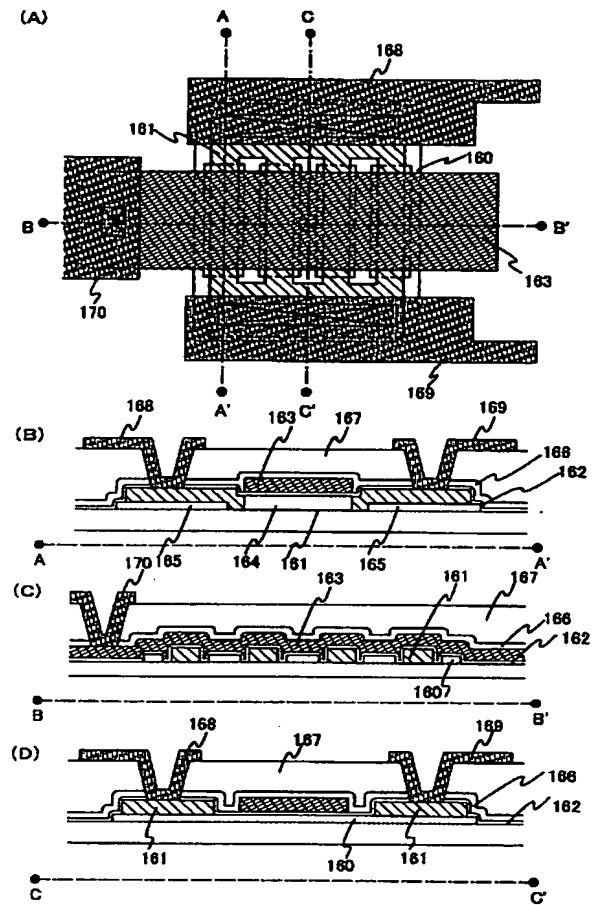
【図9】



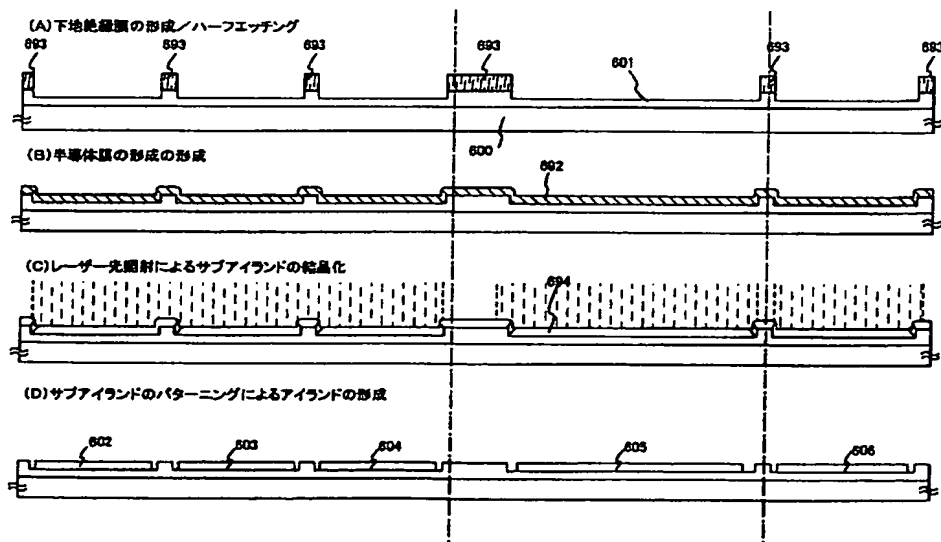
【図 10】



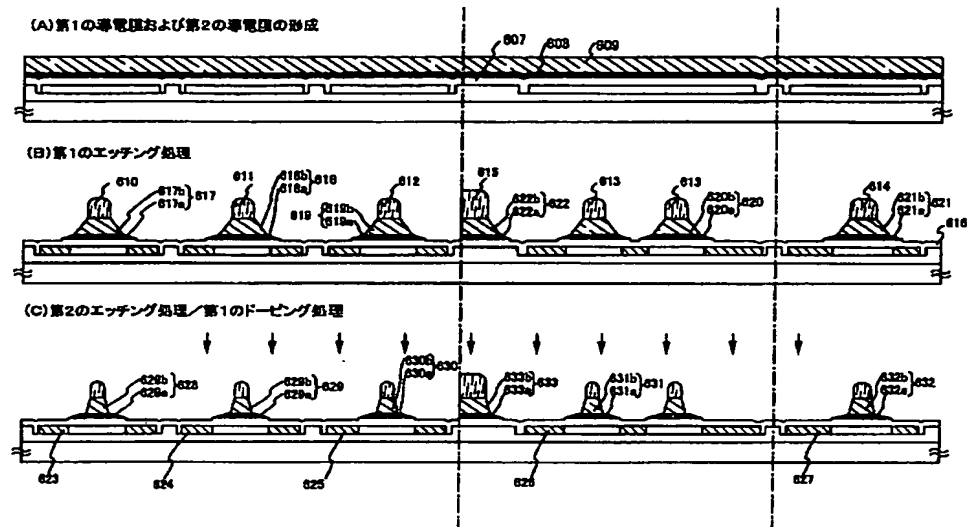
【図 12】



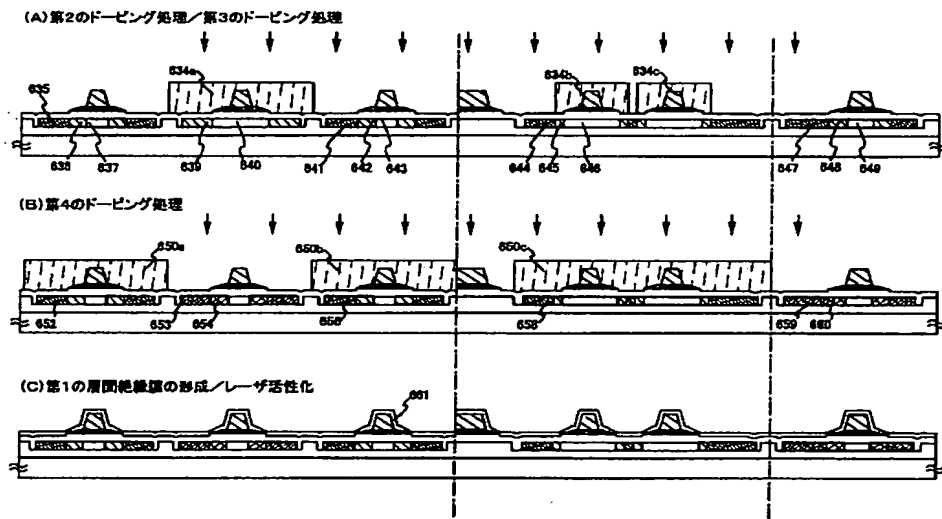
【図 13】



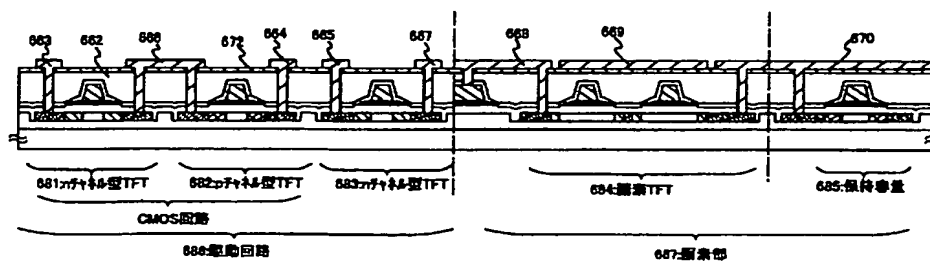
【図14】



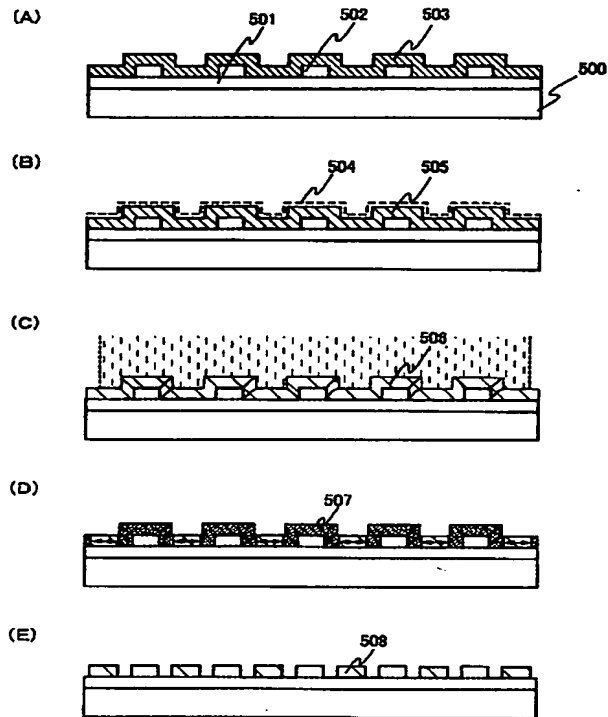
【図15】



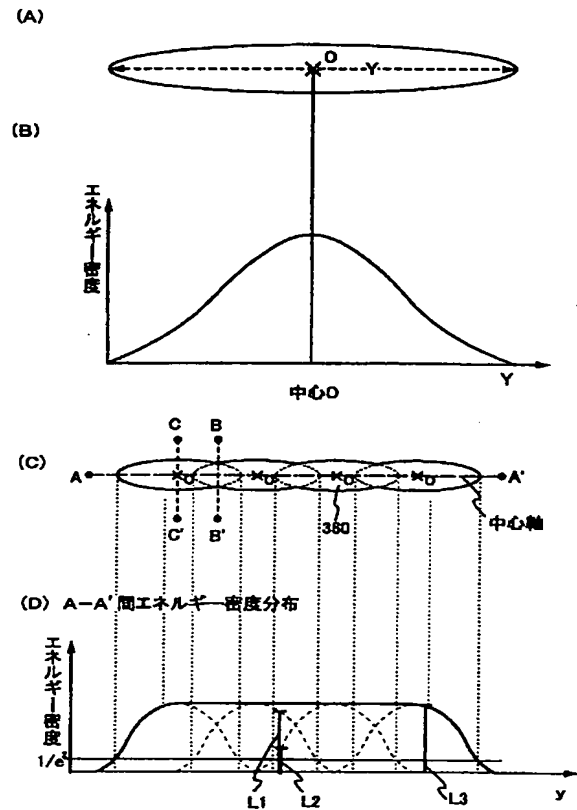
【図16】



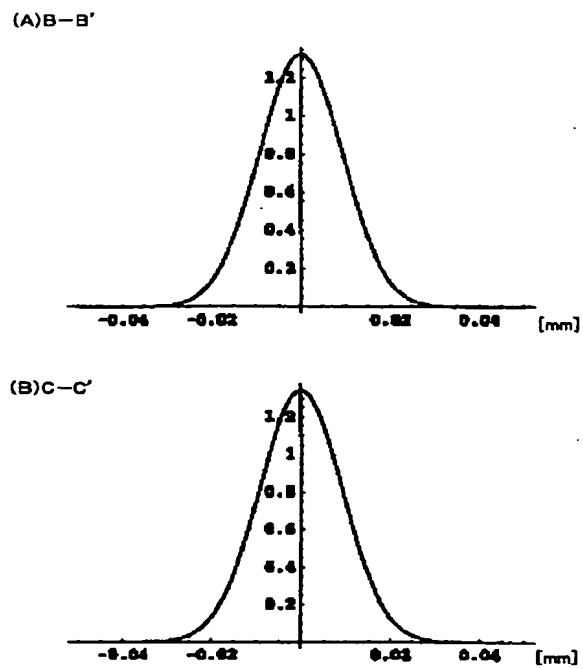
【図 17】



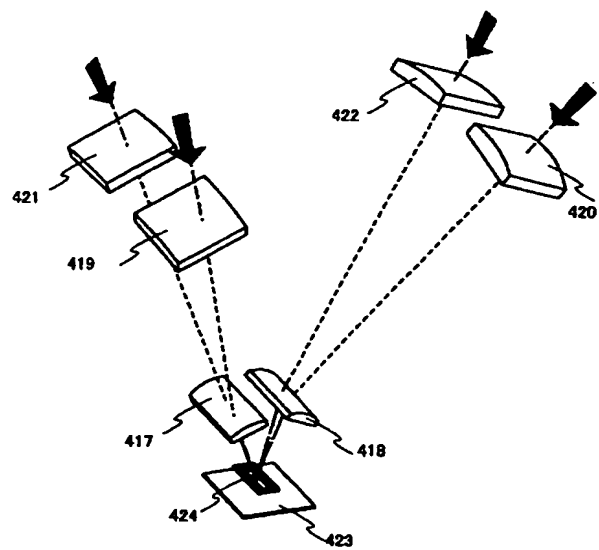
【図 18】



【図 19】

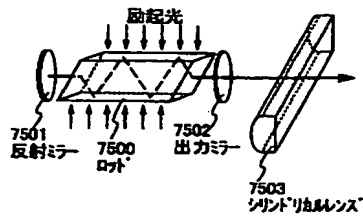


【図 21】

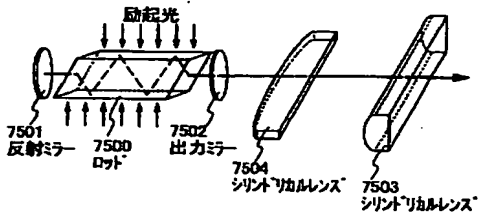


【図22】

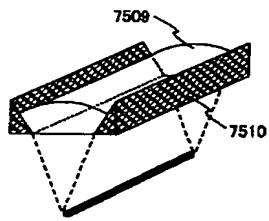
(A)



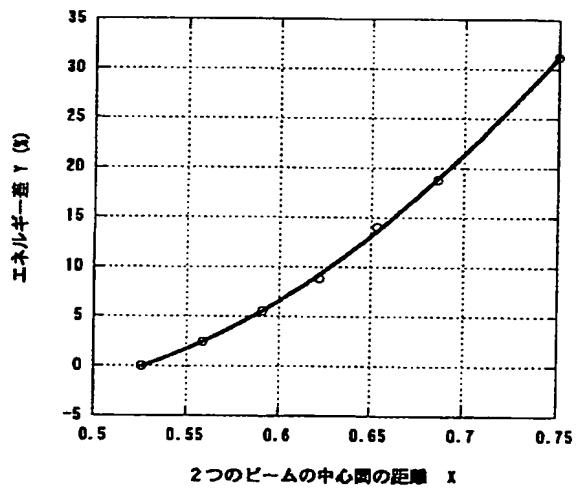
(B)



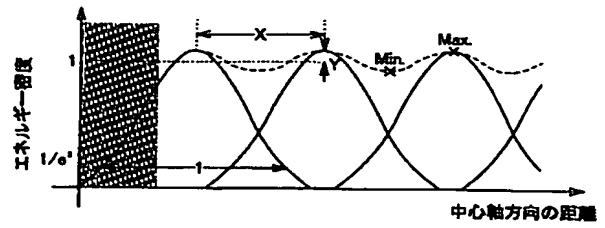
(C)



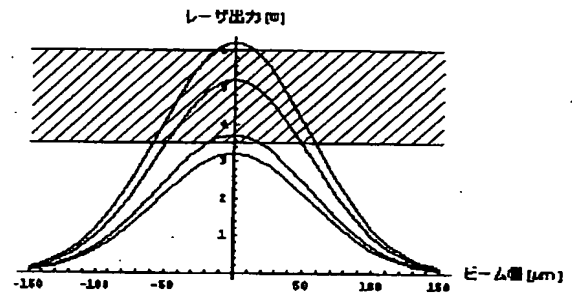
【図24】



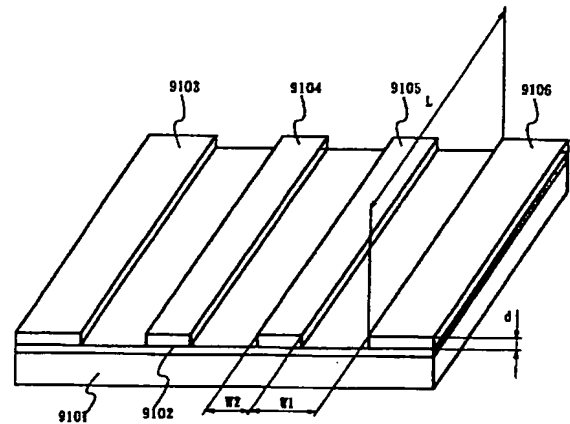
【図23】



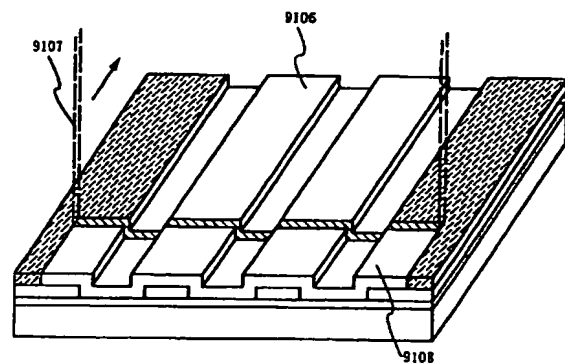
【図25】



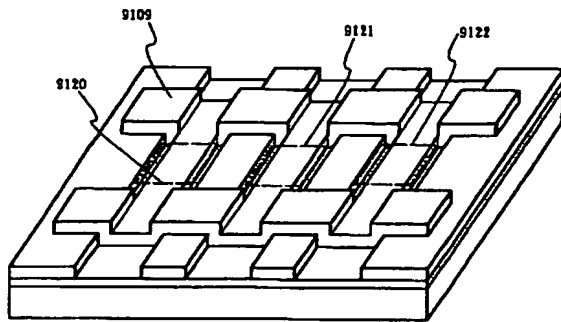
【図26】



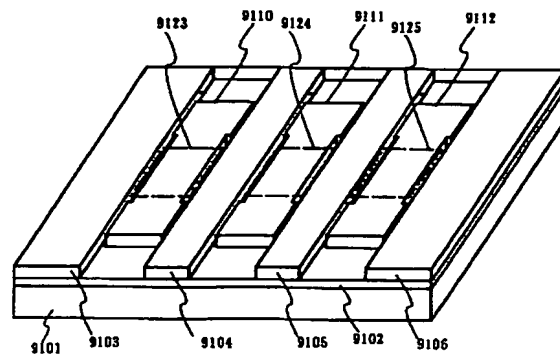
【図27】



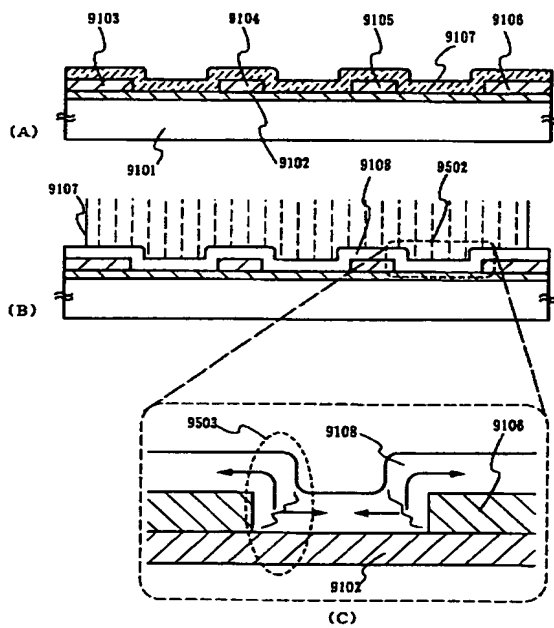
【図 28】



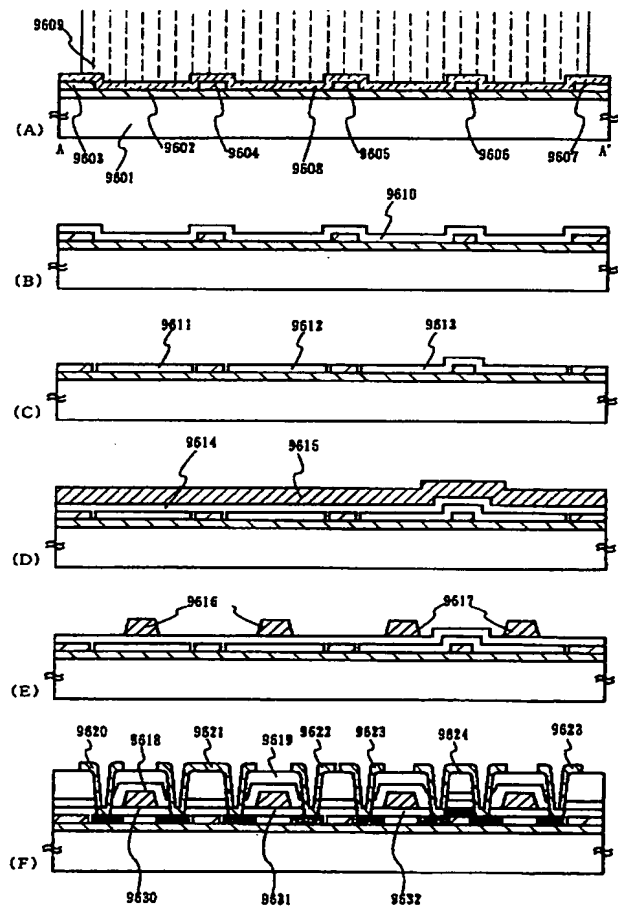
【図 29】



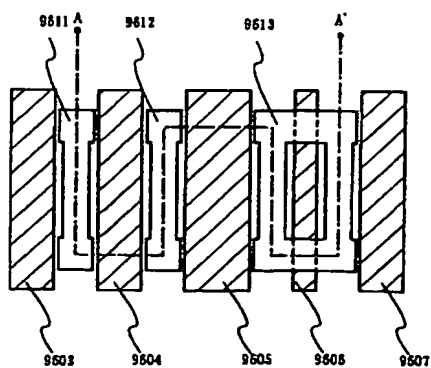
【図 30】



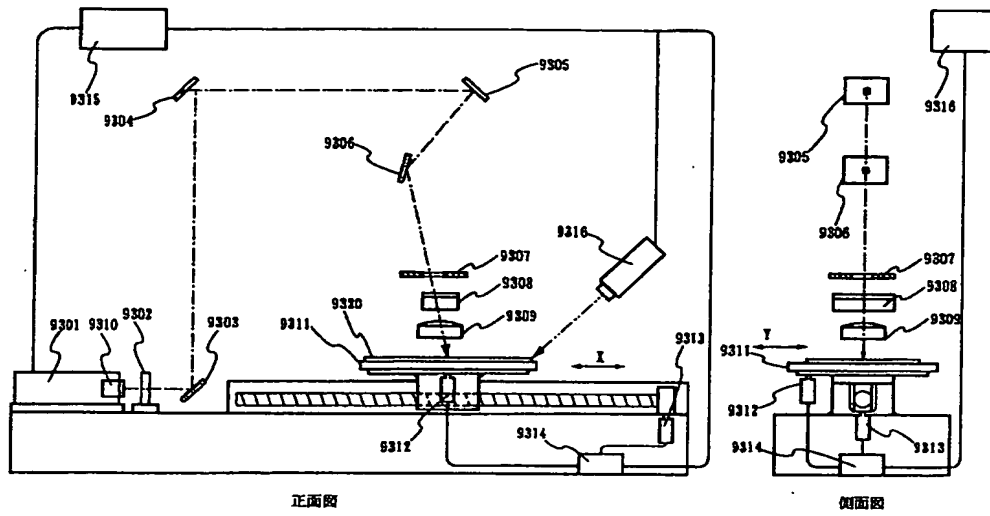
【図 32】



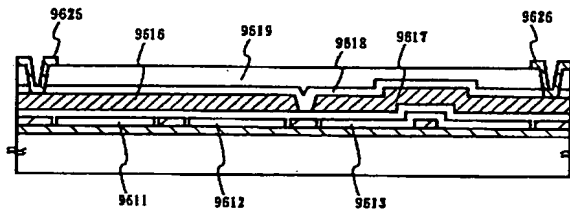
【図 35】



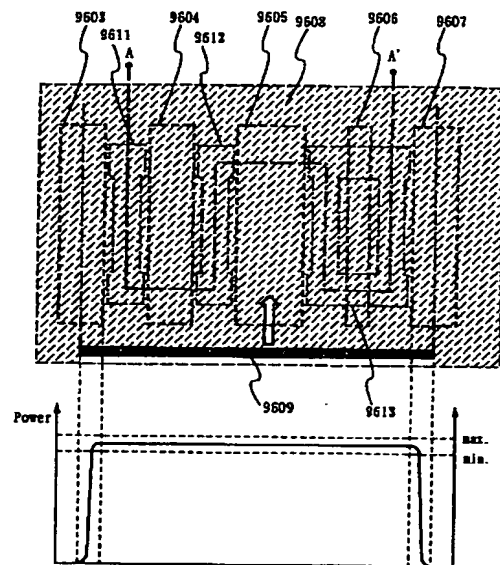
【図 31】



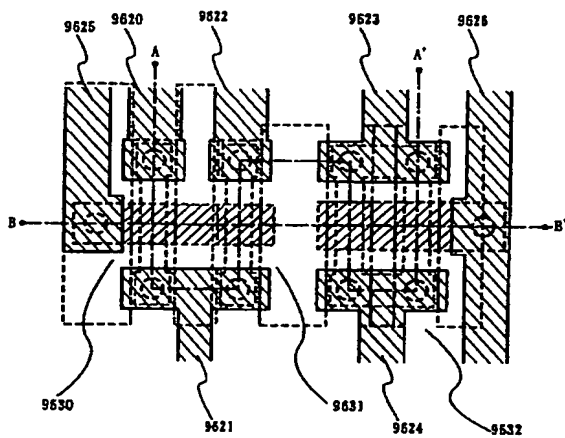
【図 33】



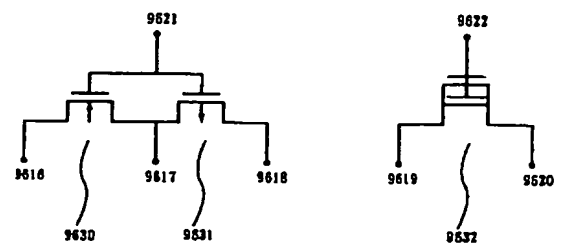
【図 34】



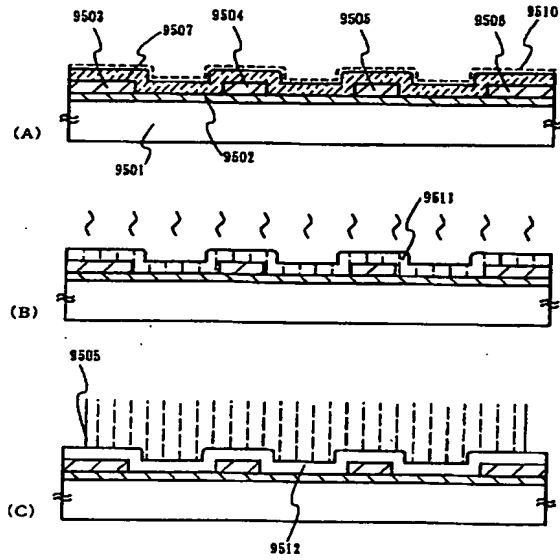
【図 36】



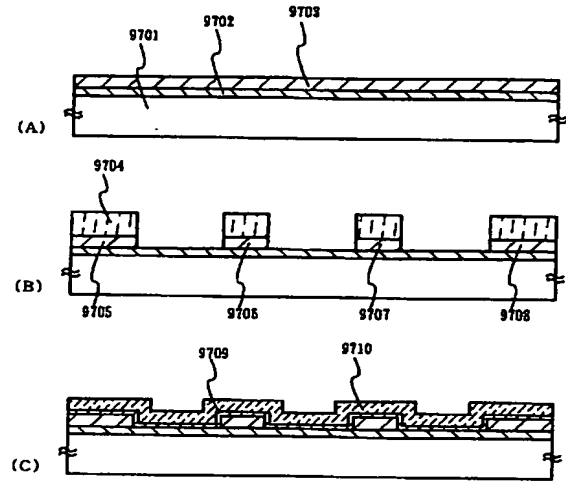
【図 37】



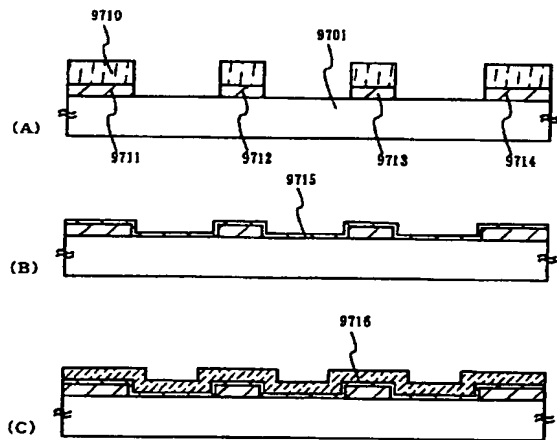
【図 38】



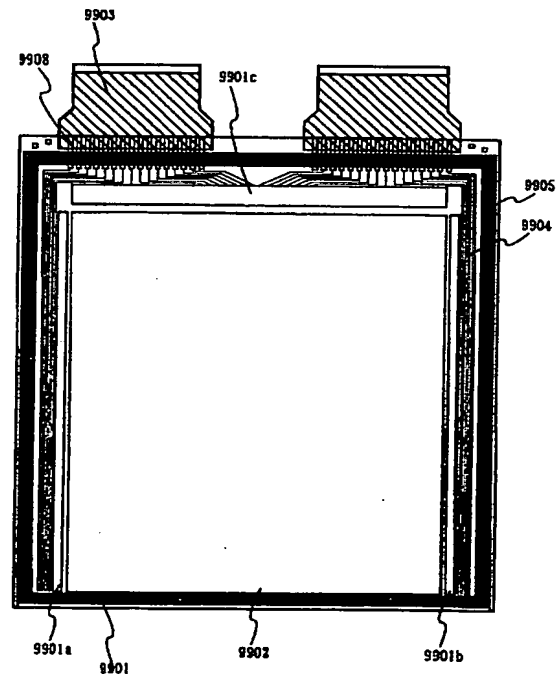
【図 39】



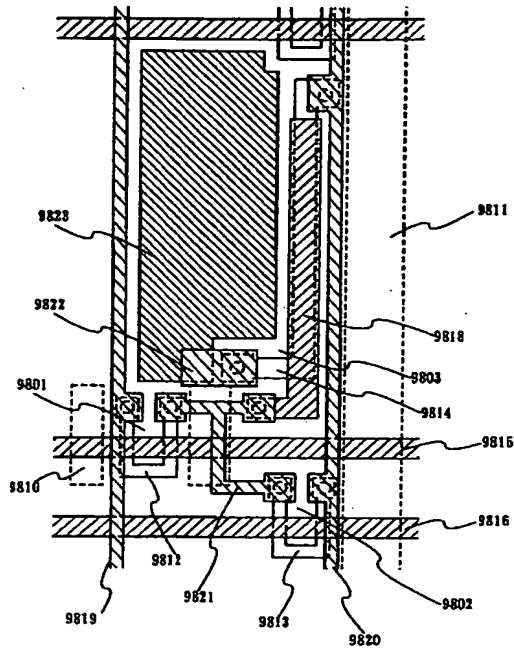
【図 40】



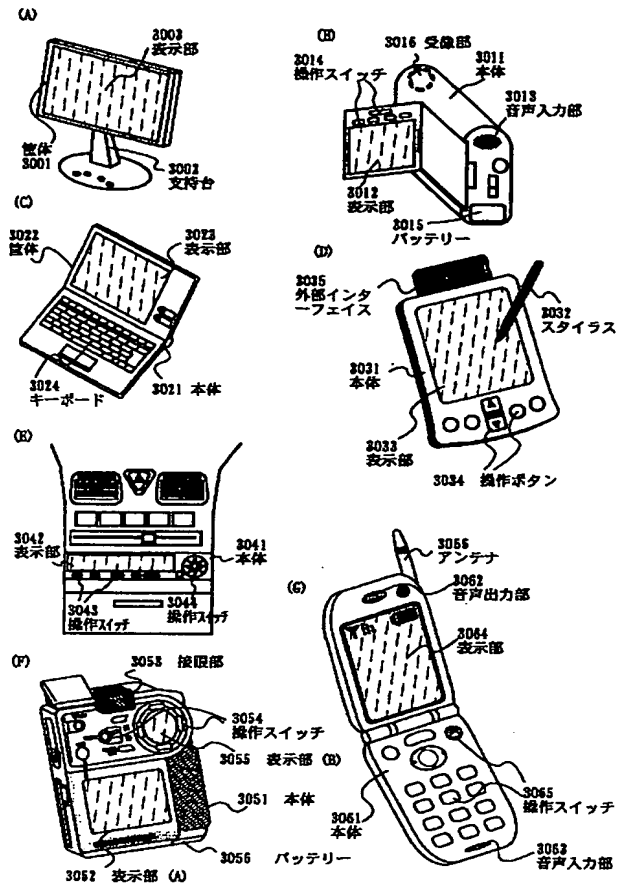
【図 41】



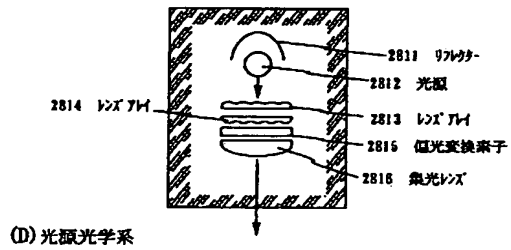
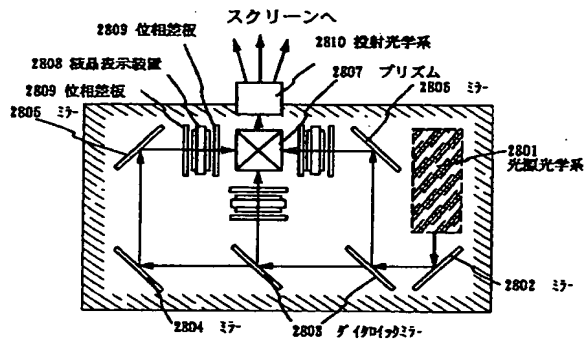
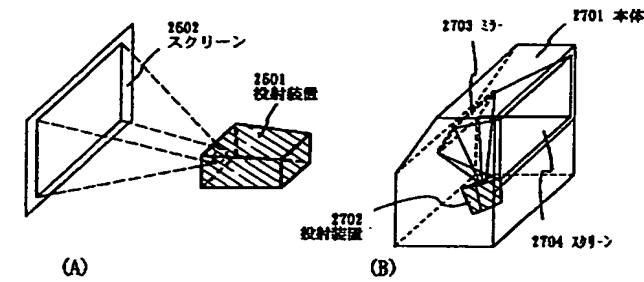
【図 42】



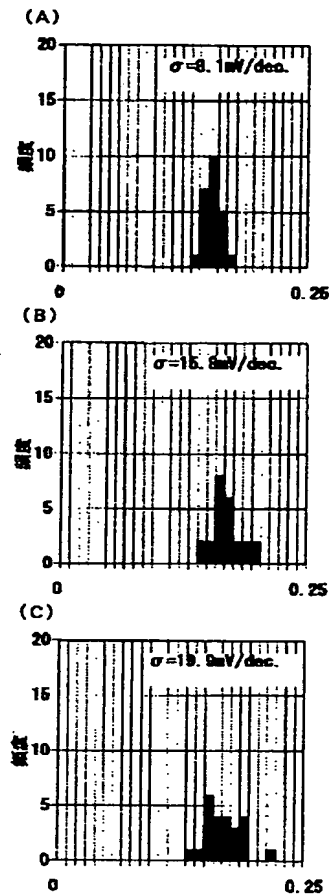
【図 43】



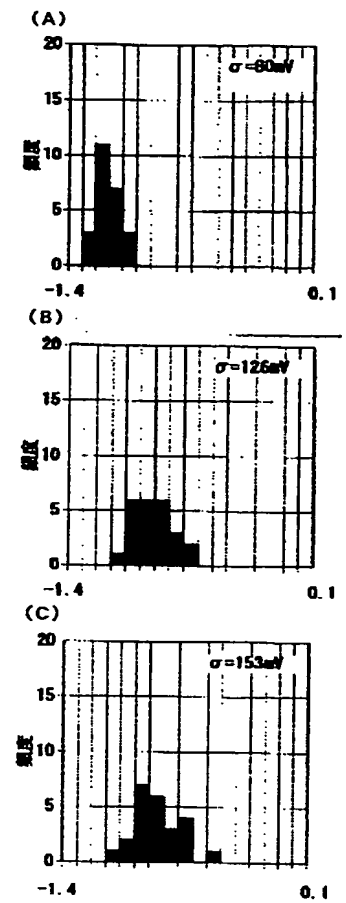
【図 4 4】



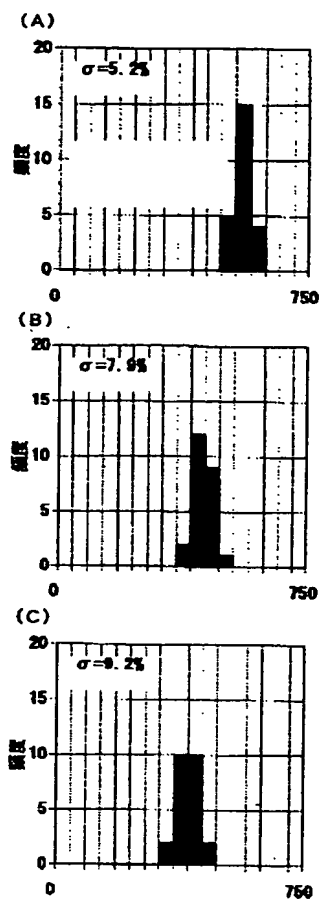
【図 4 5】



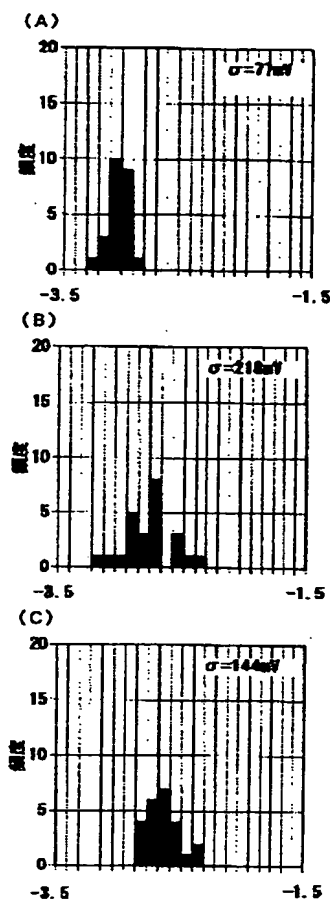
【図 4 6】



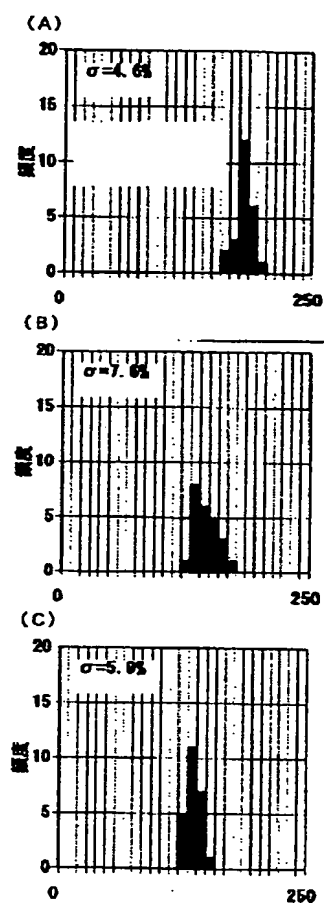
【図47】



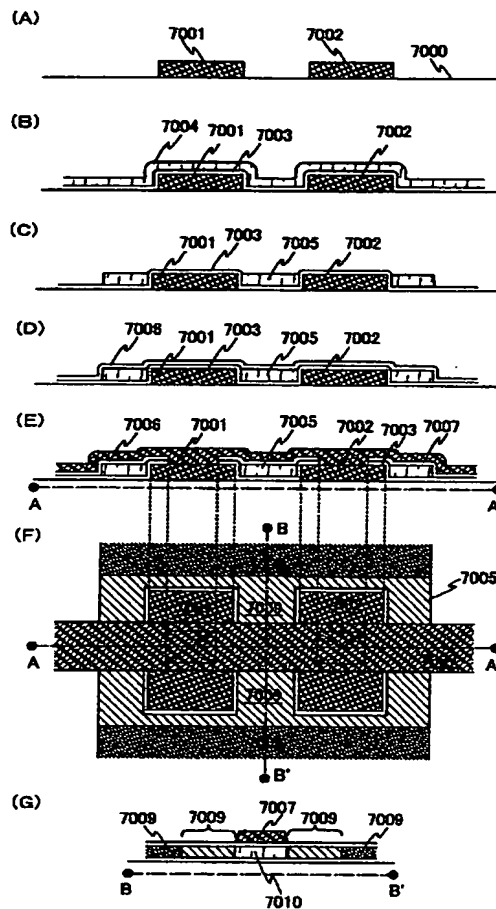
【図48】



【図49】



【図50】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	FI	テマコード (参考)
H01L 29/786		H01L 29/78	618C
			616T
			627G
			617K
(72) 発明者	小久保 千穂 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半 導体エネルギー研究所内	(72) 発明者	宮入 秀和 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半 導体エネルギー研究所内
(72) 発明者	荒尾 達也 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半 導体エネルギー研究所内	(72) 発明者	下村 明久 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半 導体エネルギー研究所内
(72) 発明者	早川 昌彦 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半 導体エネルギー研究所内	(72) 発明者	田中 幸一郎 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半 導体エネルギー研究所内

(72)発明者 山崎 舜平
神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半
導体エネルギー研究所内

(72)発明者 秋葉 麻衣
神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半
導体エネルギー研究所内

Fターム(参考) 2H092 JA25 JA28 MA30 MA35 NA21
5F052 AA02 AA17 AA24 BA04 BA07
BA11 BA12 BA18 BB01 BB03
BB04 BB05 BB07 CA01 CA04
CA05 CA10 DA01 DA02 DA03
DB02 DB03 DB07 EA11 EA12
EA16 FA04 FA06 FA13 FA14
FA19 FA26 JA04 JA05
5F110 AA01 AA06 AA16 BB02 BB04
CC02 CC10 DD01 DD02 DD03
DD04 DD05 DD13 DD14 DD15
DD17 DD21 DD30 EE01 EE02
EE03 EE04 EE05 EE06 EE09
EE14 EE15 EE22 EE23 EE24
EE44 EE45 FF02 FF04 FF09
FF28 FF30 FF36 GG01 GG02
GG13 GG17 GG23 GG25 GG30
GG32 GG43 GG45 GG47 GG51
HJ01 HJ04 HJ12 HJ13 HJ23
HL01 HL02 HL03 HL04 HL06
HL11 HM13 HM15 NN03 NN04
NN22 NN24 NN27 NN34 NN35
NN71 NN72 NN73 PP01 PP02
PP03 PP04 PP05 PP06 PP07
PP10 PP24 PP29 PP34 PP35
PP40 QQ04 QQ05 QQ09 QQ11
QQ23 QQ24 QQ25 QQ28